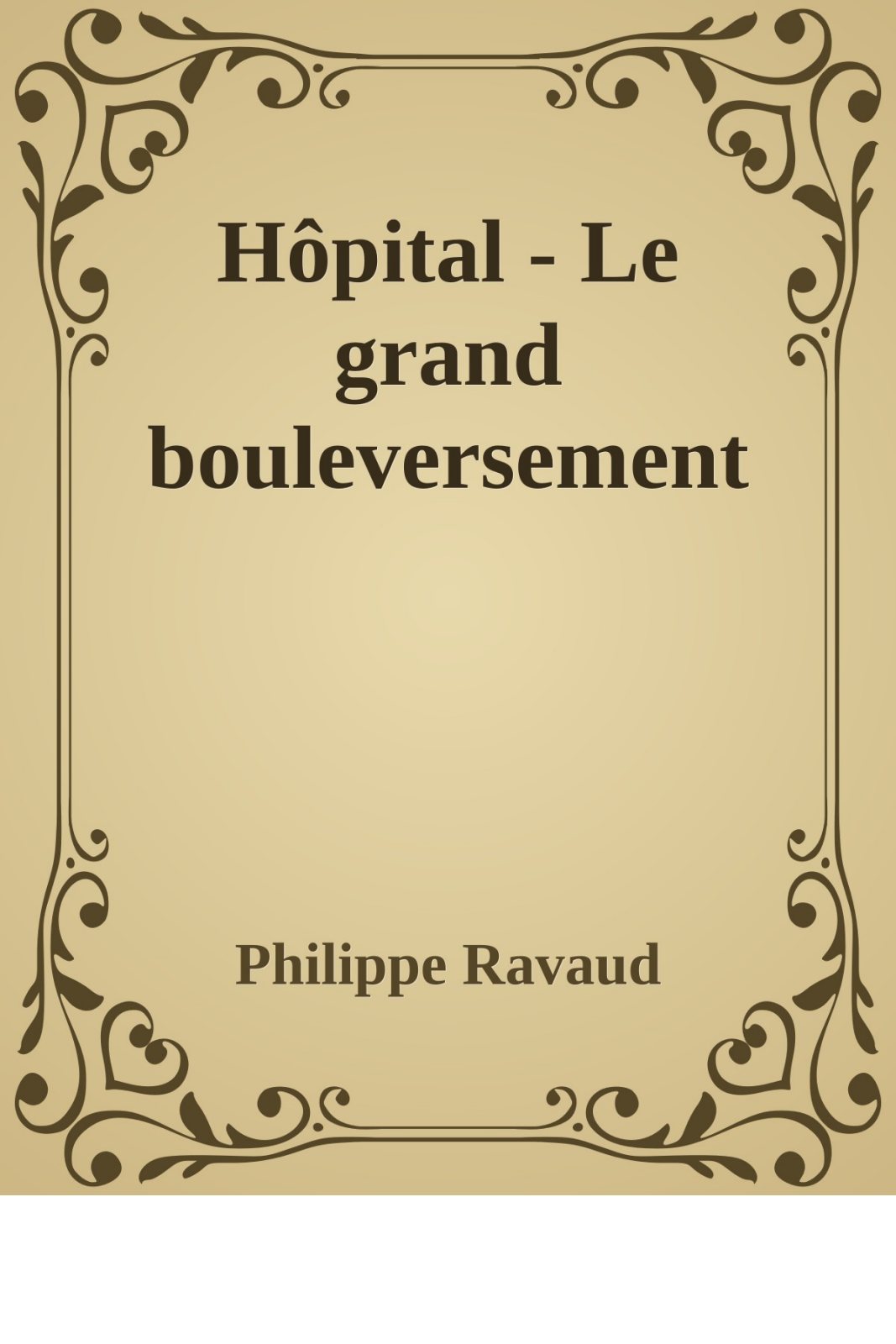


A decorative border with symmetrical floral and scrollwork patterns in a dark brown color, framing the central text.

# **Hôpital - Le grand bouleversement**

**Philippe Ravaud**

VISIT...

LANZAROTE  
*Caliente*.COM

PHILIPPE RAVAUD

# HÔPITAL

## LE GRAND BOULEVERSEMENT

CNRS ÉDITIONS

Philippe Ravaud

# Hôpital. Le grand bouleversement

**CNRS ÉDITIONS**

15, rue Malcbranche – 75005 Paris

## Collection Hôtel-Dieu dirigée par Nicolas Castoldi

Un peu partout en France, il y a des Hôtel-Dieu apparus tout au long du Moyen-Age. Lieux centraux et ouverts, tournés vers la fragilité et la faiblesse, puis laboratoires d'un soin qui a quitté le champ de la religion pour se faire art et science à la fois, ils sont devenus le symbole de ce que nous pouvons être et faire les uns pour les autres, mais aussi des tensions qui traversent l'idée même de commun. Se placer sous leurs auspices, c'est affirmer que le soin a bien sa place au cœur de la cité et qu'en ce début de <sup>XXI</sup>e siècle, nous avons besoin de le repenser au même titre que tout ce qui nous unit et nous rassemble.

© CNRS Éditions, Paris, 2022

ISBN : 978-2-271-14345-7

*Ce document numérique a été réalisé par [Nord Compo](#).*

# Avant-Propos

L'idée de ce livre a germé progressivement au cours des dernières années, d'abord dans le cadre de la réponse à un appel d'offres pour la création d'Instituts hospitalo-universitaires. J'avais proposé d'en créer un qui conduirait des recherches sur la façon dont le digital et l'intelligence artificielle allaient révolutionner la prise en charge des maladies chroniques. C'est finalement la crise induite par le Covid-19 qui m'a convaincu de me lancer dans cet exercice d'écriture inhabituel pour moi. Médecin hospitalier et chercheur hospitalo-universitaire, mon mode d'expression habituel est la production d'articles scientifiques destinés à apporter des connaissances nouvelles plutôt qu'un exercice personnel de prospective sur l'organisation des soins et des hôpitaux publics.

La décision d'écrire ce livre a été le fruit d'un long cheminement, dont la première étape a été une réflexion de mon équipe et de moi-même sur la nécessité de développer des travaux de recherche impliquant des disciplines multiples pour accompagner la profonde révolution qui ne manquerait pas d'être induite par le développement de l'Intelligence artificielle (IA) et des outils digitaux en santé. En 2017, nous avons décidé, avec un groupe multidisciplinaire de chercheurs associant médecins, spécialistes de santé publique, sociologues, philosophes, juristes, économistes, designers, mathématiciens, informaticiens, spécialistes des capteurs, de répondre à un appel d'offres pour la création d'un Institut hospitalo-universitaire (IHU) sur cette thématique. Le jury a rapidement douché nos espoirs en concluant qu'il n'anticipait pas qu'une telle révolution pourrait être intégrée dans les soins médicaux quotidiens dans le délai proposé pour le financement (qui était de dix ans). Après de multiples discussions avec les différents ministères concernés, est ressorti à la

fois un intérêt pour la vision exprimée, une reconnaissance de l'importance de la thématique mais également une incapacité systémique à financer un projet ne rentrant pas dans les cases usuelles.

Je peux situer très précisément la deuxième étape de ce cheminement : le vendredi 28 février 2020, le SARS-CoV-2 n'avait encore fait aucun mort en France mais les données épidémiologiques devenaient préoccupantes. Certains des outils de suivi à distance imaginés dans le projet IHU pour le suivi des maladies chroniques me semblaient pouvoir servir pour la crise qui se dessinait. Le nombre de malades atteints de SARS-CoV-2 promettait d'être très important, mais seule une minorité ferait une forme grave qui justifierait une hospitalisation. Il me semblait donc envisageable de suivre ces malades à distance avec des outils numériques, d'identifier précocement une aggravation éventuelle et de ne les hospitaliser qu'en cas d'absolue nécessité. Je pensais que les hôpitaux français auraient nécessairement des difficultés à gérer l'afflux important de malades et de sujets contacts en cas d'épidémie massive, qui affecterait aussi inévitablement les soignants, et qu'il était important de réduire la circulation de malades contagieux et l'encombrement des hôpitaux par des malades peu sévères ou des sujets contacts.

J'ai alors adressé un message d'une part à Martin Hirsch (directeur général de l'Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, ou AP-HP) et Rémi Salomon (président de la commission médicale d'établissement de l'AP-HP) et d'autre part à Jérôme Salomon (directeur général de la santé), en les incitant à mettre en place au plus vite des modalités innovantes d'organisation de soins pour ces malades. J'argumentais sur la nécessité de penser différemment leur gestion et de mettre en place très rapidement d'un côté des outils de suivi quotidien à distance et de l'autre des centres de décision pour analyser ces données et les orienter (maintien à domicile, hospitalisation, envoi du SAMU si nécessaire). Cette note reposait sur une transposition au SARS-CoV-2 de modalités d'organisation de soins innovantes conçus dans le cadre initial du projet IHU. Martin Hirsch m'a répondu quasiment par retour de mail qu'il en discuterait avec quelques membres de la cellule de crise de l'AP-HP et Yazdan Yazdanpanah, infectiologue membre du comité de crise Covid-19 de l'AP-HP, m'informait dans la nuit qu'il y était très favorable. Le soir du samedi 29 février, j'avais l'accord de Martin Hirsch pour que mon équipe commence à travailler avec un



groupe d'infectiologues et d'informaticiens volontaires de différentes *start-ups* pour concevoir et développer une version pilote. Huit jours plus tard, un premier outil pilote fonctionnait. La semaine suivante, l'AP-HP choisissait une *start-up* (NouVed) pour mettre en œuvre à large échelle et développer la plate-forme qui deviendrait Covidom.

La troisième étape se situa en avril 2020, lors du déplacement d'Emmanuel Macron à l'hôpital Bicêtre (le même jour que sa fameuse visite à Didier Raoult à Marseille). Le président venait rencontrer un petit groupe de chercheurs qui avaient développé en urgence une plate-forme d'essais cliniques nommée Corimuno, pour tester de nombreuses molécules afin de lutter contre la réponse immunitaire disproportionnée observée chez certains malades atteints d'un Covid grave. Alors que nous étions en pleine crise et toujours confinés, j'avais été frappé de constater qu'Emmanuel Macron s'interrogeait déjà sur les enseignements que nous pourrions tirer de la crise pour construire l'avenir de notre système de santé.

Le quatrième et dernier jalon survint en juin 2020, au décours de la première vague, quand Martin Hirsch me demanda de relancer le projet d'Institut hospitalo-universitaire, le succès de la plate-forme Covidom (avec à cette époque plus de 500 000 patients inscrits, aujourd'hui près de 1,4 million) étant une preuve de la validité du concept, de l'adhésion des malades et de la possibilité de déploiement à grande échelle de tels outils.

Ces événements m'ont convaincu de la nécessité d'aider le public et les décideurs à mieux comprendre les avancées technologiques récentes et surtout, au-delà des utilisations spécifiques multiples qui peuvent en être faites, d'analyser leur impact général sur le système de soins et d'imaginer ce que pourrait devenir l'organisation de soins, et en particulier les hôpitaux publics universitaires, à l'heure des outils digitaux et de l'intelligence artificielle.

# Introduction

Nous sommes à un moment clé où la conjonction des données issues de capteurs, objets connectés et smartphones et des moyens d'analyse issus de l'intelligence artificielle permettent d'imaginer de modifier très profondément nos organisations de soins tout en répondant à de multiples besoins actuellement non satisfaits, faute de moyens humains. J'utiliserai ici l'expression « nouvelles technologies numériques » pour désigner aussi bien les outils numériques permettant de générer des données que les méthodes d'analyse, issues de l'intelligence artificielle, de ces données. Comme beaucoup de chercheurs et de soignants, je suis persuadé que leur apport devient essentiel et peut révolutionner le champ de la santé. Cette transformation est d'autant plus urgente que notre système est à bout de souffle, après deux années de pandémie qui ont éprouvé tous les acteurs mais aussi trente ans de paupérisation progressive de l'hôpital et de désespérance des personnels, entraînant une désaffection des jeunes pour ces métiers et le départ de soignants et médecins déjà en poste. Urgente aussi car il y a une frénésie autour des technologies numériques en santé : il ne se passe pas un jour sans une annonce gouvernementale de création d'un appel d'offres, de financement d'une expérimentation, de mise en place d'une structure d'accompagnement, de plan de développement, etc.

Le nombre de *start-ups* explose et les levées de fonds s'accroissent. Cette prolifération un peu anarchique forme un paysage très morcelé dont on peine à comprendre comment il va s'articuler avec les acteurs et les organisations de soins existantes. Le déploiement dans les hôpitaux reste balbutiant, en dehors de quelques contre-exemples spécifiques concernant par exemple les prises de rendez-vous en ligne. Le modèle économique reste très incertain en France, et les

modifications de la chaîne de valeur du soin difficiles à appréhender. Cette transformation digitale est pleine de promesses et peut avoir de nombreux impacts positifs, mais elle peut aussi s'accompagner de nombreuses dérives, dont la première est le risque d'oublier que la technologie n'est qu'un moyen, pas une fin en soi, et que seuls comptent le but et les usages qui en seront faits.

J'insisterai en particulier sur le rôle que pourraient avoir les hôpitaux publics universitaires dans cette nouvelle organisation des soins et pour la prise en charge des maladies chroniques, qui constituent le principal enjeu. S'il ne fait aucun doute que ces technologies vont avoir un impact considérable, il serait préférable qu'il soit choisi plutôt que subi. Il faudrait également que ces technologies permettent de renforcer notre système en répondant mieux aux besoins de santé publique dont chacun s'accorde à considérer qu'ils sont insuffisamment pris en compte depuis des décennies, la prévention en particulier restant peu financée et développée en France. Enfin, il semble évident que certains choix auront des conséquences au delà du seul système de santé, sur nos finances publiques et notre souveraineté économique (la santé représente 12 % de notre PIB, et nous sommes très dépendants des importations, de médicaments comme de matériels). De multiples options existent, et mon ambition est d'apporter au débat les informations nécessaires pour appréhender ce sujet, si fondamental socialement et économiquement, dans toute son ampleur et sa diversité.

Le but de notre système de soins devrait être de garder les gens en bonne santé, de délivrer des soins perturbant le moins possible la vie des malades et de limiter au maximum leurs hospitalisations. Il faut également que chacun puisse accéder à des soins de qualité comparable, indépendamment de son lieu de vie. Attentes essentielles auxquelles notre système de soin peine à répondre, et pour lesquelles les nouvelles technologies représentent un espoir. Elles pourraient permettre de suivre les malades à distance sans les déplacer, de prédire les rechutes et d'intervenir pour les éviter. Ainsi, pour certains malades ou certaines phases de leur maladie, l'hôpital de demain pourrait être leur domicile. Les nouvelles technologies pourraient permettre également de proposer à tous ceux qui le désirent des

interventions numériques personnalisées pour tenter de modifier les comportements délétères pour leur santé. Les innovations ne devront donc pas être uniquement technologiques mais concerner également les processus et l'organisation des soins, la nature et le rôle des prestataires, les relations entre eux et les patients, les systèmes d'information, l'architecture des établissements, le financement des soins et l'ensemble de la chaîne de création de valeur traditionnelle dans le système de santé. De nouveaux métiers ou des évolutions de métiers existants seront nécessaires.

De multiples évolutions épidémiologiques comme sociétales rendent cette révolution indispensable. Les divers apports de la médecine numérique et de l'intelligence artificielle en santé induiront des modifications profondes de notre manière de délivrer les soins et peuvent permettre de revisiter le lien soigné-soignant, en préservant le caractère humain du soin, qui est son essence même. Elles permettront également de rendre la médecine plus proactive. Néanmoins, il existe des risques et limites inhérents à ces nouvelles technologies, et c'est avec précaution que cette révolution devra être mise en œuvre. On peut en espérer des bénéfices en termes d'amélioration de la qualité des soins, de réduction des inégalités territoriales et de la charge de travail des soignants ainsi qu'en termes de productivité et de réduction des coûts.

Il faudra lever de multiples contraintes structurelles systémiques et nous préparer à cette révolution. La crise du Covid peut jouer un rôle positif dans cette transformation et aider à l'accélérer.

J'esquisserai une proposition pour réinventer la mission de l'hôpital public universitaire, et décrirai en particulier comment le développement de plates-formes régionales de suivi à distance des malades et d'interventions numériques pourrait améliorer notre organisation de soins. Je discuterai certains enjeux de cette transformation numérique comme les alternatives à la localisation hospitalière de ces plateformes, le lien éventuel avec le financement des hôpitaux publics et les questions complexes de partenariat public-privé. J'exposerai ce que pourrait être un hôpital augmenté, non seulement grâce aux nouvelles technologies numériques, mais augmenté aussi dans ses ambitions, ses missions et ses sources de financement.

Le point de vue adopté dans cet ouvrage est lié à ma double

formation de rhumatologue et d'épidémiologiste, à mon expérience hospitalo-universitaire et aux thèmes sur lesquels porte ma recherche depuis de nombreuses années (évaluation thérapeutique, organisation des soins, qualité et nouvelles modalités des soins, médecine digitale, maladies chroniques, multimorbidité).

## CHAPITRE 1

# Un système confronté à de profondes évolutions

Notre système de soins est confronté à de multiples et profondes évolutions démographiques, épidémiologiques et sociétales mais aussi à une transformation de l'exercice de la médecine et aux nouvelles attentes et besoins des patients. Les comportements individuels (au premier rang desquels tabagisme, consommation d'alcool, alimentation, exercices physiques) et les modes de vie contribuent massivement aux maladies chroniques, dont le fardeau ne cesse de s'alourdir, et qui constituent un défi complexe nous incitant à repenser l'ensemble de la santé publique. Malheureusement, nous peinons à nous adapter à ces évolutions, et l'accroissement des dépenses de santé est difficilement soutenable.

## **La transition épidémiologique des maladies infectieuses aux maladies chroniques**

Partout dans le monde, les systèmes de santé sont confrontés à un défi majeur : la prise en charge des maladies chroniques, qui ont remplacé les maladies infectieuses, à l'exception notable bien entendu de la crise du Covid-19. Depuis les années 1950, on observe une diminution des maladies infectieuses et une augmentation des

maladies chroniques non transmissibles, phénomène désigné par l'expression « transition épidémiologique ».

Le vieillissement de la population n'explique que partiellement ce phénomène auquel notre système de soins, avec son approche en silos par maladie, peine à répondre.

On estime qu'en France 20 millions de personnes environ sont atteintes de maladies chroniques, la moitié d'entre elles ayant moins de 50 ans. Elles touchent plus de 40 % des adultes dans certains pays développés<sup>1</sup>, et leur prévalence augmente rapidement, ce que le vieillissement de la population ne peut qu'accentuer. Cette croissance a pu être décrite comme une pandémie émergente<sup>2</sup> et touche tous les pays, quel que soit leur niveau de développement.

L'impact est considérable, et ces maladies chroniques contribuent à plus de 60 % des années de vie perdues en raison d'une mauvaise santé, d'un handicap ou d'une mort précoce (*Disability Adjusted Life Years* ou DALYs) dans le monde, avec une augmentation de 36 % entre 1990 et 2016<sup>3</sup>. Les quatre groupes de maladies chroniques principaux (maladies cardiovasculaires, cancer, diabète et maladies respiratoires chroniques) ont été responsables de 71 % des décès dans le monde en 2018<sup>4</sup>.

Leur impact économique est majeur : la part du budget de la santé lié à ces maladies représente aujourd'hui 75 à 86 % des dépenses dans les pays à revenu élevé (soit 115 milliards d'euros par an environ en Europe)<sup>5</sup> et ne cesse d'augmenter. Le coût indirect lié à la perte de productivité induite est considérable.

Les maladies chroniques sont non seulement de plus en plus fréquentes, mais le nombre de malades souffrant d'au moins deux d'entre elles (ce que l'on appelle « multimorbidité »), est en croissance rapide : cela concerne désormais 50 % des malades chroniques<sup>6</sup> et 23 % des adultes en général<sup>7</sup>. La moitié des personnes de plus de 65 ans en ont au moins trois et 20 % cinq ou plus. La proportion de tels patients augmente certes avec l'âge, mais en nombre absolu la moitié des malades multimorbides ont moins de 65 ans. Dès qu'un individu est atteint d'une maladie chronique, il est plus enclin à développer d'autres pathologies<sup>8</sup>.

La prévalence de la multimorbidité est très liée au niveau socio-économique. Une étude réalisée à partir des données de plus de 300 cabinets médicaux en Écosse en 2007 montrait par exemple

qu'elle était deux fois plus fréquente dans la couche la plus économiquement défavorisée de la population que dans la couche la plus favorisée<sup>9</sup>. Ainsi, 18,3 % des 50-54 ans les plus aisés (grade 1 de l'échelle de statut socio-économique utilisée) étaient concernés, et 36,8 % des plus démunis (grade 10 de l'échelle de statut socio-économique).

## Un lien malade-médecin en évolution

Les identités des médecins comme des malades sont redéfinies, et le rôle de ces derniers ainsi que l'interaction des uns avec les autres ont profondément évolué au cours des vingt ou trente dernières années. Une conjonction de phénomènes sociaux, économiques, culturels et politiques à l'œuvre depuis les années 1980 a contribué à une redéfinition importante des rapports médecin-patient et plus largement de la place de l'ensemble des personnels soignants et des médecines dans la société<sup>10</sup>.

Progressivement, un consumérisme médical est apparu, et pour une fraction croissante des malades la santé est devenue un bien de consommation, les soins des prestations, les patients des consommateurs et le médecin un prestataire de service avec des obligations non seulement de moyens mais également de résultats.

La relation médecin-patient en a été changée. L'évolution du statut social des médecins, dont le savoir est désormais mis en concurrence, a contribué à cette modification. Si la parole du médecin demeure importante pour nombre de malades, elle n'est plus leur unique source d'information. Ils ont accès à de multiples autres sources (réseaux sociaux, site web, proches et parfois associations de patients), de qualité très variable et qu'il leur est difficile de hiérarchiser. Souvent contradictoires, ces informations sont fréquemment biaisées par des conflits d'intérêts divers qui peuvent être financiers (ne se limitant pas, loin de là, aux seuls industriels pharmaceutiques) ou idéologiques.

Enfin, des mouvements de patients atteints de maladies chroniques ont pris conscience lors de l'épidémie de Sida qu'ils pouvaient être un levier puissant. Des mouvements importants (souvent issus de pays



anglo-saxons) se sont alors développés avec pour ambition de limiter l'asymétrie d'information entre médecin et malade et d'accroître l'implication du second dans les décisions le concernant (« *empowering patient* », « *patient revolution* »)<sup>11</sup>. La nécessité de prises de décision partagées s'est imposée progressivement.

## La médecine n'est plus un art

La médecine a beaucoup évolué au cours des dernières décennies, sur de nombreux plans. Les nouvelles technologies ont non seulement modifié les méthodes diagnostiques et thérapeutiques, mais la manière même de concevoir la médecine. La prise en charge des maladies chroniques, a notamment fait l'objet de réflexions importantes.

La médecine n'est plus considérée comme un art et depuis les années 1990, on adosse la décision médicale à la science. La médecine fondée sur des « faits prouvés » est désormais admise par tous, ou presque. Cependant, au-delà de la vision théorique à laquelle tout le monde adhère, la mise en œuvre pratique est complexe. Les malades attendent logiquement d'être traités en fonction du meilleur état de la science, mais cela se heurte à de nombreuses difficultés. La vitesse de renouvellement des connaissances s'accélère et nul n'est plus capable d'appréhender le flot d'articles scientifiques, même limité à un domaine très spécialisé. Le temps de doublement des connaissances médicales, qui était de sept ans en 1980, était projeté à soixante-treize jours en 2020<sup>12</sup>. La formation médicale ne peut donc plus être structurée uniquement autour de l'acquisition de connaissances, qui risquent d'être rapidement obsolètes. Il est nécessaire que l'on enseigne aux futurs médecins comment trouver rapidement des informations de qualité et à jour. Pratiquer une médecine fondée sur des « faits prouvés » demeure un incroyable défi humain et technologique à l'échelon mondial. Synthétiser et critiquer de nouvelles connaissances dont le rythme de production s'accélère sans cesse, les intégrer puis les transmettre et les faire appliquer à des millions de soignants est d'une complexité extrême, même dans les meilleurs hôpitaux du monde<sup>13</sup>.

Parallèlement, la complexité des soins augmente et nécessite un

nombre d'intervenants sans cesse croissant et des plateaux techniques de plus en plus sophistiqués.

## **Du fardeau de la maladie au fardeau du traitement**

Outre le classique fardeau de la maladie, on doit aussi se préoccuper désormais du fardeau lié au traitement, c'est-à-dire de l'impact de la prise en charge médicale sur la qualité de vie du patient que peuvent induire les visites chez le médecin, les examens complémentaires, la gestion des traitements ou les modifications des habitudes de vie demandées par l'équipe soignante. Ce fardeau est parfois considérable pour les malades chroniques, surtout lorsqu'ils sont multimorbides. Ainsi des patients souffrant d'un diabète de type 2 traités selon les recommandations de pratique clinique en vigueur, passeraient en moyenne 143 minutes par jour à s'occuper de leur maladie<sup>14</sup>. Ceux souffrant de trois maladies chroniques devraient prendre de 6 à 13 médicaments par jour, rendre visite à un soignant 1,2 à 5,9 fois par mois et consacrer en moyenne 49,6 à 71 heures mensuelles à des activités liées à la santé (gestion des médicaments, autocontrôle, visites chez le médecin, tests de laboratoire et changements de mode de vie<sup>15</sup>). Cette charge augmente naturellement avec le nombre de maladies chroniques en jeu. De nouvelles conceptions de la médecine sont apparues, avec par exemple le concept de *minimally disruptive medicine*, une approche visant à adapter les modalités de traitement aux réalités de la vie quotidienne des patients<sup>16</sup>.

## **L'impact des comportements et styles de vie**

L'influence considérable des comportements sur la survenue des maladies chroniques est maintenant largement reconnue, mais les modifier alors qu'ils sont souvent anciens et profondément ancrés dans

les habitudes est par nature difficile. Y parvenir est devenu le nouvel enjeu majeur de santé publique.

L'histoire de la santé publique peut être schématisée en quatre « vagues », chacune mettant l'accent sur un aspect différent de l'amélioration de la santé de la population<sup>17</sup>.

La première (environ 1830-1900) se caractérise par des interventions structurelles classiques de santé publique, comme l'amélioration de l'accès à l'eau potable et l'assainissement. La deuxième (environ 1890-1950) a utilisé les percées scientifiques dans de nombreux domaines industriels et médicaux pour développer des programmes biomédicaux tels que les vaccinations contre les maladies infectieuses. La troisième (environ 1940-1980), liée à la meilleure compréhension des déterminants sociaux des maladies, a des objectifs sociaux et fait émerger la notion d'État-providence, dont la sécurité sociale, le logement social et l'éducation universelle. Lors de la quatrième (depuis environ 1960), l'accent a été mis sur des interventions pour aider à prolonger la vie, une meilleure compréhension des facteurs de risque et une préoccupation accrue pour la réduction des inégalités.

En 2014, Sally Davies, Chief Medical Officer for England and the UK Government's senior medical adviser, dont le rôle est de conseiller de manière indépendante le gouvernement britannique sur les questions de santé, a repris l'idée exprimée par Phil Hanlon<sup>18</sup> quelques années plus tôt selon laquelle il est nécessaire d'entrer immédiatement dans une cinquième vague d'amélioration et de reconnaître que l'un des grands défis pour les systèmes de santé publique et de soins des sociétés du XXI<sup>e</sup> est la transition épidémiologique des maladies transmissibles aux maladies chroniques. Les maladies chroniques sont généralement multifactorielles et ont des liens étroits avec le mode de vie. Tabagisme, alimentation, consommation d'alcool et activité physique sont les quatre facteurs de risque majeurs. L'hypothèse sous-tendant cette cinquième vague est que l'amélioration de la santé de la population nécessite un profond changement culturel. On doit considérer que les comportements sains sont la norme, et que l'environnement institutionnel, social et physique doit soutenir cet état d'esprit. Nous devons tous apporter des changements importants à nos modes de vie, ce que nous ne pouvons faire sans que notre culture et notre environnement ne soient également modifiés. Trois mécanismes

clés sont nécessaires pour y parvenir : maximisation de la valeur de la santé et incitations ; promotion par défaut de choix sains (faire du choix sain le choix le plus facile) ; minimisation des facteurs créant une culture et un environnement promouvant les comportements malsains<sup>19</sup>.

Contrairement aux précédentes, fondées sur des approches descendantes, cette nouvelle vague nécessite une responsabilité partagée et la participation active de la population dans son ensemble.

## **Une sévère pénurie de personnel médical et soignant**

La pénurie de personnel médical et plus généralement de soignants en France n'est pas récente et ne se résoudra pas à court terme. Ce n'est d'ailleurs pas un problème spécifiquement français. Selon les prédictions de l'OMS, le monde aura besoin de 80 millions de travailleurs de santé pour répondre aux demandes de la population mondiale d'ici à 2030, soit le double du nombre existant en 2013<sup>20</sup>. Si l'on n'intervient pas, il manquera 18 millions de travailleurs de santé dans le monde à la fin de la décennie. Selon les estimations de l'Association of American Medical Colleges, la pénurie aux États-Unis sera de 54 100 à 139 000 médecins (médecins de soins primaires et médecins spécialisés) d'ici 2033<sup>21</sup>.

Plusieurs facteurs y contribuent, notamment le vieillissement des populations et des personnels de santé et l'augmentation rapide des maladies chroniques. Elle est telle que, selon certains experts, aucune société n'aura plus, dans vingt ans, les moyens d'assurer les soins de santé actuels sans la participation de non professionnels (comme les aidants familiaux) et de machines<sup>22</sup>.

La durée moyenne de travail des médecins est élevée. En France, selon le panel d'observation des pratiques et conditions d'exercices en médecine générale de la DREES (Direction départementale de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques), les médecins généralistes libéraux déclaraient en 2019 travailler en moyenne 54 heures par semaine (52 heures d'activité libérale et 2 heures d'activités non libérales, par exemple travail en Ehpad ou vacations à

l'hôpital), durée qui est pratiquement stable depuis 2014. Ils passent 44,5 heures auprès des patients et consacrent 5,5 heures à des activités de gestion et de coordination<sup>23</sup>. Le temps passé avec les malades varie selon l'âge des médecins (4 h 30 de plus pour les plus de 50 ans), et leur sexe (5 h 30 de plus pour les hommes)<sup>24</sup>.

De nombreuses évolutions actuelles réduisent le temps médical disponible pour les malades, au-delà du manque de soignants (autant en exercice libéral qu'hospitalier). On peut citer par exemple la féminisation du corps médical, la moindre acceptabilité des contraintes (répétition des gardes), les évolutions réglementaires (durée légale de travail, repos compensateur), l'implication des médecins généralistes dans l'enseignement, l'accroissement de la charge de travail administratif, la réduction du support apporté par les infirmières ou par des assistants administratifs (en raison des baisses d'effectifs), le nombre élevé de médecins n'exerçant pas d'activité de soins, le raccourcissement des durées de carrière<sup>25</sup>.

Les problèmes de pénurie de personnel augmentent la charge de travail de ceux qui restent et conduit à leur épuisement, créant des environnements de travail ne correspondant plus aux attentes. Le nombre de démissions (en particulier d'infirmières) augmente et l'attractivité des professions médicales et soignantes diminue. Ainsi, selon une enquête menée par l'Ordre national des infirmiers (ONI), 15 % des infirmiers veulent changer de métier dans les douze mois à venir et 30 % dans les cinq années à venir<sup>26</sup>.

Cette surcharge de travail des soignants a un impact négatif démontré sur la qualité des soins.

Au delà de cette pénurie, il existe des déséquilibres entre territoires. La majorité (90 %) des inégalités de répartition des médecins généralistes libéraux s'observent entre les bassins de vie d'une même région, et seulement 10 % des inégalités se situent entre les régions elles-mêmes<sup>27</sup>. Ces déséquilibres territoriaux sont liés à l'attractivité des métropoles et aux difficultés de l'exercice en zone rurale ou semi-rurale lorsque les autres services de santé sont limités (absence de pharmacie, de laboratoires d'analyses, de paramédicaux libéraux, d'un cabinet de radiologie et d'un centre hospitalier). L'éloignement d'autres services dits de proximité (écoles, poste, épicerie, banque) est également une difficulté. La part de la population française vivant dans des zones sous-dotées en médecins

généralistes libéraux et salariés de centres de santé, telle qu'appréciée par l'indicateur d'accessibilité potentielle localisée qui mesure la proximité et la disponibilité des professionnels de santé, est passée de 3,8 % en 2015 à 5,7 % en 2018<sup>28</sup>. Les déserts médicaux sont donc probablement appelés à le rester au moins à court terme puisque les effectifs de médecins devraient baisser jusqu'en 2024 au moins. Les difficultés d'accès aux médecins généralistes ne concernent pas uniquement les territoires ruraux. Environ 65 % de la population rencontrant des difficultés d'accès à un médecin généraliste vit en zone rurale, 4 % en aires urbaines petites ou moyennes et 30 % en grandes aires urbaines<sup>29</sup>. La répartition spatiale des spécialistes en accès direct est plus inégalitaire encore et 4,4 % des habitants vivent à plus de quarante-cinq minutes d'au moins une des quatre spécialités suivantes : psychiatrie, ophtalmologie, pédiatrie et gynécologie.

Enfin, les médecins ont une préférence croissante pour l'exercice collectif et la proportion de médecins exerçant une activité salariée augmente (47 % en 2021)<sup>30</sup>.

## Un système qui peine à s'adapter

Notre système de soins a été pensé et construit à une époque où les maladies chroniques n'étaient pas le fardeau majeur qu'elles sont devenues, et il peine à s'adapter aux évolutions épidémiologiques, technologiques, culturelles, sociétales ou économiques. Les soins sont majoritairement organisés dans le cadre d'un modèle par maladie qui n'est adapté ni à la prise en charge des malades multimorbides, ni à la prévention de la survenue d'une maladie chronique supplémentaire. L'organisation de la recherche et son financement ainsi que les associations de patients sont eux aussi très largement organisés selon un modèle en silos (prise en charge maladie par maladie).

Notre système est également de plus en plus inégalitaire, moins dans l'accès aux soins que dans l'accès aux soins les plus performants. Car, au-delà des classiques disparités socio-économiques, la méconnaissance de l'organisation du système et l'éloignement géographique des sites d'excellence sont également sources d'inégalité.

De nombreuses études ont montré qu'il existe un lien fort entre

volume et résultats pour de multiples actes chirurgicaux ou procédures techniques mais aussi pour le suivi de pathologies complexes. Pour une pathologie ou un acte chirurgical donné, les indicateurs de résultats (la mortalité, par exemple) dans les centres à fort volume d'activité sont en moyenne meilleurs que dans ceux dans lesquels ce volume est faible. Les sites d'excellence pour le traitement d'une pathologie donnée ou pour la réalisation d'une procédure chirurgicale sont donc indéniablement ceux où le volume d'activité concernant cette pathologie ou cette procédure est le plus important. Imaginer que ces résultats dépendent uniquement d'un individu (le chirurgien ou le médecin en charge du malade) est une erreur majeure : ils dépendent en fait de la qualité de l'ensemble des services de l'hôpital impliqués avant, pendant et après le geste chirurgical ou médical. Pour de nombreuses procédures chirurgicales ou prises en charge complexes, la centralisation des gestes et du suivi dans un nombre restreint de centres hautement spécialisés a un effet majeur sur le résultat obtenu.

Répondre aux attentes légitimes des malades (obtenir les meilleurs soins indépendamment du lieu de vie) devient impossible si l'on prend en compte l'accélération des besoins technologiques (chaque hôpital ne pouvant disposer du plateau technique nécessaire pour des raisons de coût d'investissement mais aussi de disponibilité de personnel ayant l'expertise requise), les contraintes de coût (qui expliquent pourquoi un plateau technique ne peut être utilisé de manière intermittente) et la vitesse d'évolution des connaissances.

Une tension croissante existe donc entre une légitime volonté de proximité et une recherche d'excellence des soins. Cette équation est impossible à résoudre. Il est utopique d'imaginer que chaque habitant pourra obtenir près de chez lui un site hospitalier à fort volume d'activité pour sa pathologie, disposant du plateau technique le plus performant, de l'expertise humaine et de l'organisation lui permettant d'obtenir des soins correspondants au meilleur niveau de la science. Aucun système de soins, et le nôtre n'échappe pas à cette règle, n'en sont financièrement capables. Régulièrement, des structures hospitalières ayant une activité jugée insuffisante sont fermées dans l'objectif légitime d'améliorer la qualité des soins offerts. Chacune de ces fermetures est vécue douloureusement car le but poursuivi n'est pas compris mais aussi parce que cela entraîne une perte d'emplois

locaux et parfois d'autres services de proximité.

Il faut avoir conscience que maintenir, pour des raisons liées davantage à l'aménagement du territoire et à l'emploi local qu'à la qualité des soins, des services cliniques et des plateaux techniques sous-équipés (technologiquement ou humainement) ou sous-utilisés participe à la paupérisation des autres structures hospitalières (et en particulier des Centres hospitalo-universitaires). Une structure ayant une activité (par exemple chirurgicale) limitée ne coûte que marginalement moins cher qu'une structure ayant une activité soutenue.

La règle depuis des décennies, sous la pression des gestionnaires, a été de réduire le nombre de lits et d'augmenter leur taux d'occupation au nom de l'efficacité opérationnelle. Les directions d'hôpitaux scrutent ces taux qui leur semblent le meilleur garant de l'efficience du système et d'une bonne utilisation des ressources disponibles. Ils sont régulièrement transmis à chaque chef de service, et toute valeur considérée comme insuffisante est âprement discutée. Cette vision simpliste se heurte à des notions mathématiques de base illustrées depuis des décennies par les travaux d'une équipe anglaise<sup>31</sup> qui a examiné les besoins quotidiens en lits résultant du flux des admissions aux urgences dans un hôpital de soins aigus, flux qui varie nécessairement d'un jour à l'autre. À l'aide de simulations, ils ont quantifié le risque du manque de lits pour des patients se présentant aux urgences nécessitant une admission immédiate. Dans un hôpital ayant un taux d'occupation des lits supérieur à 85 %, la variabilité des arrivées aux urgences entraîne un risque de ne pas avoir de lit disponible pour chaque patient nécessitant une admission immédiate de quatre jours par an. La répercussion sur l'organisation de l'hôpital durera, elle, environ huit semaines, car la durée de crise correspond à deux fois la durée moyenne d'hospitalisation. Si le taux d'occupation des lits dépasse 90 %, ce risque croît de manière importante et l'hôpital est périodiquement en crise. Chaque année, nous vérifions empiriquement ces résultats, et dans notre système où les taux d'occupation des lits atteignent fréquemment 95 %, on observe une crise hivernale hospitalière lors de chaque épidémie de grippe pour les adultes ou de bronchiolite pour les enfants (avec une limitation des hospitalisations programmées voire des transferts de malades).

Depuis de nombreuses années, malgré de multiples plans de



renforcement des moyens alloués aux structures d'urgences, notre système est confronté à des crises, avec une inadéquation périodique des moyens au flux sans cesse croissant de malades se présentant aux urgences pour des motifs variés (urgences, mais aussi absence d'autres possibilités de soins ou de possibilité de rendez-vous dans un délai adapté, retard de prise en charge ayant rendu la situation urgente, problèmes sociaux). On peut se demander si, plutôt que de traiter le symptôme (un flux excédant les moyens disponibles), il ne serait pas plus pertinent de tenter de modifier en profondeur l'organisation des soins afin d'éviter certains de ces passages aux urgences.

L'architecture de nombreux hôpitaux est souvent inadaptée à la prise en charge des maladies chroniques. Elle a souvent été conçue au XIX<sup>e</sup> siècle alors que les maladies infectieuses constituaient la principale cause de mortalité : ils ont donc été constitués d'abord de bâtiments indépendants reliés par des galeries puis de pavillons multiples. Progressivement, dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, sont apparus des hôpitaux verticaux monoblocs puis polyblocs centrés sur des plateaux techniques de plus en plus complexes. L'architecture des hôpitaux, lorsqu'ils sont modernisés, réaménagés ou agrandis, doit être adaptée au suivi des malades chroniques<sup>32</sup>. Il faudra probablement repenser drastiquement les bâtiments pour répondre à ce besoin croissant, aux nouvelles fonctions, aux nouvelles organisations et pratiques de soins induites par les technologies numériques et aux nouvelles attentes des patients. Par exemple, une des demandes des malades chroniques est d'avoir un accès facilité à des parkings lorsqu'ils viennent à l'hôpital.

Notre système de santé est peu impliqué dans la prévention des maladies chroniques. Chaque année, les patients concernés ne passent que quelques heures avec un médecin ou une infirmière par an, et plusieurs milliers en dehors de la présence de leur médecin<sup>33</sup>. Durant ces milliers d'heures, ils prennent de nombreuses décisions : ingérer ou non les médicaments prescrits, suivre éventuellement d'autres conseils médicaux, choisir ce qu'ils mangent et boivent et s'ils fument, faire d'autres choix concernant des activités qui peuvent affecter profondément leur santé<sup>34</sup>. Le modèle de soin des pays occidentaux fondé sur des consultations courtes (en moyenne dix-sept minutes en France<sup>35</sup>) et espacées souvent de plusieurs mois semble inadapté pour répondre à ce besoin important.

La capacité de transformation de notre système de santé et en particulier de nos hôpitaux publics est faible. De nombreux facteurs y contribuent : la complexité du système, une capacité d'investissement réduite, des incitatifs au changement quasi inexistants, la tendance à l'aversion au risque dans la prestation de soins, les effets potentiellement délétères du financement à l'acte. Les différences de visions et les déséquilibres de pouvoir entre directeurs d'hôpitaux et équipes médicales et soignantes ne facilitent pas cette transformation.

Ces difficultés ne sont pas l'apanage des hôpitaux, et le secteur ambulatoire peine lui aussi à se transformer. Dans certains domaines, la résistance à la mise en œuvre du transfert inéluctable de certaines tâches semble davantage liée à des intérêts corporatistes qu'à une impossibilité réelle.

L'inertie du système et son incapacité à se transformer entraînent une exaspération croissante et parfois un découragement des acteurs qui ont l'impression de vivre depuis plusieurs décennies une dégradation progressive des soins apportés, une détérioration de leurs modalités d'exercice et une pression financière sans cesse croissante.

## **Des données de plus en plus riches**

Le secteur de la santé a toujours généré une très grande quantité d'informations, souvent stockées sous forme de documents physiques (par exemple des clichés radiographiques, des enregistrements d'électrocardiogramme ou des comptes rendus sur papier). Les données numériques de santé représentent des volumes considérables et leur quantité croît de manière exponentielle. Ainsi plus de 2 000 exaoctets (un exaoctet est égal à  $10^{18}$  octets) de données de santé ont dû être produites et enregistrées sur des serveurs informatiques en 2020 (environ quinze fois plus que sept ans plus tôt)<sup>36</sup>. La majorité de ces données sont désormais générées ou saisies dans un format numérique ou transformables en un format numérique et sont donc devenues utilisables. Enfin, les initiatives locales ou nationales pour en simplifier et accélérer l'accès aux chercheurs et entrepreneurs se multiplient. En France, un groupement d'intérêt public, le Health Data Hub, répond à cet objectif.

# Un système de financement délétère

Notre système de financement à l'acte semble constituer un frein au changement. Au-delà des limites communes à toute règle de financement, c'est le principe même qui pose un problème à des pans entiers de l'activité hospitalière, avec des conséquences délétères multiples.

Ce mode de financement est le plus courant pour rémunérer les services des médecins, dans le monde entier, et c'est la norme en France : le médecin perçoit une rémunération distincte pour chaque service fourni. Cela semble raisonnable pour certains gestes techniques comme les actes chirurgicaux (si l'on part du principe qu'ils étaient utiles et de bonne qualité, ce qui est une hypothèse parfois trop forte et le plus souvent non vérifiée). Un tel financement encourage à accroître le volume des actes réalisés et entraîne tout le système dans une inflation du nombre d'actes, notamment lorsqu'ils sont très rémunérateurs<sup>37</sup>.

L'hôpital, comme tout autre intervenant du système de soins, devrait être financé aussi pour garder les non-malades en bonne santé, prévenir l'aggravation de l'état des malades chroniques et leur éviter une hospitalisation. Or, l'hôpital est à ce jour largement financé grâce aux hospitalisations induites par les échecs du suivi des malades chroniques. *A contrario*, les consultations hospitalières coûtent plus cher à l'hôpital qu'elles ne lui rapportent. Les contacts survenant entre deux consultations (téléphone, e-mails, SMS) permettant d'assurer la continuité des soins et de réaliser des ajustements thérapeutiques ne sont pas valorisés, ce qui contribue exactement à l'inverse du but recherché.

Les médecins consacrent une part croissante de leur activité (parfois plusieurs heures par jour) à échanger avec les malades en utilisant des outils de communication divers. Cette activité supplémentaire indispensable n'est pas rémunérée, et donc de fait non reconnue, alors qu'elle est indispensable pour rassurer, informer, suivre et orienter les malades.

Il est également évident que le système de soins, hospitalier comme extrahospitalier, n'est pas réellement engagé dans la prévention primaire (diminuer le risque de survenue de nouveaux cas d'une maladie) ou secondaire (diminuer la prévalence d'une maladie

en agissant au tout début de l'apparition du trouble ou de la pathologie afin de s'opposer à son évolution, ou pour faire disparaître les facteurs de risque).

Enfin, il y a des pressions constantes pour réduire les coûts hospitaliers tout en améliorant la qualité des soins. Depuis plusieurs décennies, les hôpitaux s'intéressent aux possibilités offertes par des concepts issus du monde industriel, dont celui d'« usines ciblées » définies comme des « usines créées pour concentrer l'ensemble du système de fabrication sur un ensemble limité, concis et gérable de produits, de technologies, de volumes et de marchés précisément définis par la stratégie de l'entreprise, sa technologie et son économie ».

La mise en œuvre dans le domaine de la santé de filières spécialisées reprenant ces grands principes, ciblant des actes, procédures, populations ou pathologies spécifiques, a été proposée comme un moyen d'accroître l'efficacité des soins hospitaliers. Il ne fait guère de doute que le financement à l'acte incite les acteurs à organiser de telles filières, en excluant le plus souvent les malades les plus complexes ou les plus fragiles, pour accroître leur productivité.

Ces organisations visent par exemple à fournir de manière efficace des procédures chirurgicales. Ainsi, des centres de traitement dédiés à une procédure chirurgicale particulière (chirurgie de la cataracte, prothèses de genoux, etc.) ou à une procédure spécifique (arthroscopie ou coloscopie, par exemple) se sont répandus.

Les domaines retenus sont choisis en fonction de leur rentabilité, ils nécessitent donc un acte ou une procédure pouvant être standardisé, réalisable chez un grand nombre d'individus et dont le financement est suffisamment élevé. Ce type d'organisation est intéressant, car ces filières acquièrent une réelle expertise liée à leur volume d'activité et rationalisent l'organisation. Néanmoins, cela soulève des questions d'égalité entre les acteurs si certains concentrent leur activité sur les interventions les plus rentables (celles qui sont le mieux financées et qui sont réalisées chez des malades n'ayant pas ou peu de comorbidités). Par ailleurs, tous les fournisseurs de soins n'ont pas la même agilité pour jouer avec ces règles de financement et modifier leurs activités pour créer rapidement de telles filières quand une nouvelle procédure hautement rentable apparaît.

Les dépenses de santé augmentent chaque année. En 2019 en France, elles étaient en hausse de 2,1 % et s'élevaient à 208 milliards d'euros soit 11,8 % du produit intérieur brut. Les soins hospitaliers représentaient 97,1 milliards d'euros, soit environ 47 %, et les transports sanitaires 5,1 milliards d'euros<sup>38</sup>.

Notre système de soins (comme la plupart des systèmes de santé dans le monde) est traditionnellement majoritairement orienté vers l'aspect curatif au détriment de la prévention qui représente moins de 8 % de ces dépenses. Malgré la hausse continue de ces dernières, notre système peine à financer certaines interventions de prévention primaire ou secondaire. Financer des interventions humaines pour aider à modifier les comportements de dizaines de millions d'individus atteints de maladies chroniques est ainsi à ce jour inenvisageable.

1. Barnett *et al.*, 2012 ; Gerteis *et al.*, 2014.
2. Terzic, 2011.
3. GBD 2016, DALYs and HALE Collaborators, 2017.
4. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
5. OECD, 2016.
6. Barnett *et al.*, 2012 ; Guthrie, 2012.
7. Barnett *et al.*, 2012.
8. Schäfer, 2012.
9. Barnett *et al.*, 2012.
10. Tan & Goonawardene, 2017.
11. Richards *et al.*, 2015.
12. Densen, 2011.
13. Elliott *et al.*, 2021.
14. Russel, 2005.
15. Buffel du Vaure *et al.*, 2016.
16. May *et al.*, 2009.
17. Hanlon *et al.*, 2011 ; Davies *et al.*, 2014.
18. Hanlon, 2011.
19. Davies *et al.*, 2014.
20. WHO 1.
21. AAMC, 2020.
22. Thuemmler & Bai, 2017 ; Hobbs *et al.*, 2016.
23. Chaput *et al.*, 2019.

24. *Ibid.*
25. Scemama, 2017 ; Rapport d'information Sénat, 2013.
26. Ordre national des infirmiers, 2022.
27. Selon une enquête de la DRESS citée dans Vincent, 2012.
28. Les dossiers de la DREES 2021.
29. Legendre, 2021.
30. Conseil national de l'ordre des médecins, 2021.
31. Bagust *et al.*, 1999.
32. Anderson *et al.*, 2018.
33. Asch *et al.*, 2012.
34. *Ibid.*
35. Doctolib, 2017.
36. Banks, 2020.
37. Brosig-Koch *et al.*, 2017 ; Di Guida *et al.*, 2019.
38. Les dépenses de santé en 2019, résultats des comptes de la santé éd. 2020, Direction de la recherche des études de l'évaluation et des statistiques.

## CHAPITRE 2

# Les promesses de l'apport des nouvelles technologies numériques

**L**a santé numérique et l'intelligence artificielle (IA) pourraient avoir la capacité de réduire le coût des soins tout en améliorant leur qualité (par exemple en améliorant leur personnalisation) ou en les transformant en profondeur (par exemple en satisfaisant un besoin qui ne pouvait pas être géré auparavant pour des raisons techniques, humaines ou de coût, comme la vérification systématique des images radiologiques à la recherche de fractures ou la gestion des prises de rendez-vous<sup>1</sup>).

Les bénéfices peuvent également concerner la réduction des inégalités territoriales ou la diminution de la charge de travail des soignants. L'IA devrait permettre de prendre en charge davantage de malades avec des moyens similaires, ou un nombre similaire de patients en leur consacrant davantage de temps.

Les promesses des outils numériques et de l'intelligence artificielle dans le domaine de la santé sont donc multiples, et nous vivons les prémices de la révolution qu'ils devraient permettre.

## Améliorer le suivi digital des patients

Le nombre, la diversité et la disponibilité des capteurs portables, des applications mobiles et de l'internet des objets ne cessent d'augmenter et il devient possible de les utiliser pour réaliser un suivi à distance des malades. Les espoirs sont basés sur l'hypothèse que des

mesures continues de biomarqueurs, qui restent à définir, offriront des signaux précieux, plus pertinents que les mesures sporadiques obtenues lors des consultations<sup>2</sup>.

Collecter des données de surveillance (symptômes, données physiologiques, comportements, environnement), en temps réel, à distance, de manière continue, à haut débit, avec des contraintes assez minimales pour le malade et pour un coût faible est désormais possible. Les capteurs portables (« *wearable biometric monitoring devices* ») représentent une piste prometteuse pour faciliter le suivi des patients et parfois enrichir le diagnostic en identifiant des événements intermittents. Ces capteurs peuvent prendre des formes diverses (montres, dispositifs portés à la ceinture, lentilles de contact, patch cutané ou dentaire, etc.) et permettent de réaliser un véritable « phénotype digital » (défini comme la quantification instantanée du phénotype humain au niveau individuel *in situ* à l'aide de données provenant d'appareils numériques personnels)<sup>3</sup>.

Ils permettent également de suivre, en continu et à distance, des paramètres biologiques ou physiques (mouvements, pression artérielle, fréquence et rythme cardiaque, etc.)<sup>4</sup>. La diversité des capteurs et objets connectés existants est considérable et ne cesse de s'accroître. Dès à présent, au-delà des capteurs classiques, les médicaments, pansements et orthèses sont eux-mêmes de plus en plus souvent connectés. De nombreux objets peuvent être connectés (verres, balances, miroirs...) et même des tissus (t-shirts, chaussettes...).

À titre d'exemple, pour le diabète, de multiples capteurs ou objets connectés disponibles sont disponibles ou en développement<sup>5</sup>. Il existe par exemple des chaussettes intelligentes pour tenter de limiter les risques de lésion du pied particulièrement fréquente et grave chez les diabétiques. Elles sont tricotées avec deux fibres originales (enduites d'argent pour l'une, et ayant un effet piézorésistif pour l'autre) permettant de mesurer la pression sous et autour du pied. Toute pression anormale modifie la résistance électrique du matériau. Une unité centrale souple située dans la partie supérieure de la chaussette adresse ces informations à une montre, un smartphone ou un ordinateur portable. Un modèle mathématique spécifique d'un malade donné (prenant en compte l'anatomie de son pied et les mesures de pressions réalisées) évalue en temps réel le risque d'ulcère de pression



du pied<sup>6</sup>.

Une mode est née aux États-Unis, le « *quantified self* » ou automesure connectée : chacun peut mesurer ses données personnelles, les analyser et les partager<sup>7</sup>. De nombreux malades utilisent l'autoquantification pour l'autogestion de leurs soins. Ces systèmes peuvent ainsi être utilisés pour suivre, surveiller et quantifier différents aspects de la santé, y compris mentaux, émotionnels, physiques et sociaux, afin d'acquérir une meilleure connaissance de soi.

Certains capteurs, y compris des capteurs simples et très répandus comme les accéléromètres (permettant de quantifier l'accélération subie par un objet suivant un, deux ou trois axes) largement disponibles sur les montres connectées ou les smartphones, offrent des possibilités considérables. Ces accéléromètres, au-delà du simple calcul de nombre de pas qui est la donnée dont on dispose le plus souvent, pourraient fournir de multiples autres informations sur la marche (vitesse, équilibre...).

Par ailleurs, si l'information simple du nombre de pas est combinée à une autre information simple comme le rythme cardiaque, cela renforce considérablement son intérêt, puisque cela permet de calculer le nombre de minutes d'activité physique intensive (et ceux qui le désirent peuvent ainsi vérifier qu'ils suivent les recommandations internationales qui en préconisent 150 par semaine). Cela permet éventuellement parfois aussi de détecter une accélération du rythme cardiaque non liée à une augmentation de l'activité physique à un instant donné, qui peut correspondre à un trouble du rythme.

La disponibilité des capteurs, objets connectés portables (« *sensors and wearables* ») et de l'internet des objets s'accroît et leur coût baisse sans cesse. Leur qualité est souvent correcte malgré une variabilité des mesures d'un capteur à l'autre<sup>8</sup>. Si leur exactitude est souvent inférieure à celles des méthodes de mesure dites de référence, leur précision reste largement suffisante pour le suivi des malades.

Les données générées par ces différents capteurs sont facilement transmises et permettent donc le suivi à distance des malades. On pourrait donc passer ainsi d'une médecine basée sur un face-à-face occasionnel à date fixe à une médecine plus proactive où le malade serait suivi à distance et où le rythme des visites ne serait plus fixé à l'avance mais adapté en permanence selon l'évolution observée, dans

l'hypothèse bien évidemment où cette activité supplémentaire serait anticipée, organisée et financée.

On peut d'ores et déjà, et c'est en soi une révolution, prescrire un capteur ou un jeu de capteurs pour la surveillance d'un malade atteint d'une pathologie donnée. Par exemple, pour une insuffisance cardiaque congestive, une balance connectée (une prise de poids étant un signe précoce que l'insuffisance cardiaque s'aggrave) et une application enregistrant l'électrocardiogramme ou ECG sur une montre connectée.

À court terme, il est tentant d'imaginer créer, pour chaque malade, le jeu de capteurs adapté à sa pathologie. Des capteurs peuvent maintenant être imprimés sur des matériaux flexibles ultrafins et ultralégers voire à même la peau<sup>9</sup>. D'autres équipes utilisent des méthodes d'impression 3D. Ces technologies peuvent sembler futuristes mais sont déjà disponibles ou en développement avancé<sup>10</sup>.

## **Le potentiel transformatif de l'intelligence artificielle**

Les technologies basées sur l'intelligence artificielle et le *machine learning* nous permettent de tirer des enseignements nouveaux et importants de la quantité considérable de données générée chaque jour pendant la dispensation des soins de santé, et ainsi de transformer ces derniers<sup>11</sup>. L'intelligence artificielle simule une partie de la cognition humaine et aide l'utilisateur en automatisant des tâches fastidieuses et en procédant à des analyses de données qu'un cerveau humain ne pourrait réaliser.

Elle n'a le plus souvent pas vocation à remplacer les médecins et autres soignants mais à faciliter certaines de leurs tâches. Au-delà des promesses dans le domaine du diagnostic et du dépistage avec les progrès de l'analyse d'images, le potentiel transformatif de l'IA est important dans la prédiction des rechutes et aggravations des maladies chroniques<sup>12</sup>. Couplée aux données numériques, l'IA peut également transformer la mise en œuvre des interventions destinées à modifier des comportements. Elle peut permettre d'extraire des informations médicales du texte des comptes-rendus ou des dossiers médicaux, de

repenser la classification des maladies ou de faciliter le développement des médicaments.

Depuis près de cinquante ans, les promesses d'une révolution de la médecine grâce à l'intelligence artificielle n'ont pas abouti et sont souvent restées du domaine de la science-fiction. Des tentatives comme celle d'IBM avec sa division Watson Health ont été des échecs retentissants malgré des milliards de dollars d'investissement. Cependant, la rapidité et les progrès impressionnants observés dans d'autres domaines d'activité utilisant le *machine learning* ou le *deep learning* et les résultats de certaines études récentes montrent que le moment d'une transformation en profondeur de notre manière de pratiquer la médecine, rendant les soins de santé plus précis, efficaces et accessibles<sup>13</sup>, est enfin venu<sup>14</sup>.

## DIAGNOSTIQUER ET PRÉVENIR

### L'analyse d'images à visée diagnostique

Il ne fait guère de doutes que l'IA fera mieux que les meilleurs experts dans l'analyse d'images, qu'il s'agisse d'images radiologiques, de photographies de la peau ou de l'œil, de tracés d'électrocardiogramme ou de coupes anatomopathologiques<sup>15</sup>. Dans de nombreux domaines, la démonstration de cette supériorité a déjà été faite. Ainsi, en gastroentérologie, elle permet lors d'une coloscopie de prédire automatiquement si les lésions coliques sont malignes, avec des performances comparables à celles d'endoscopistes expérimentés<sup>16</sup>. Des systèmes ont aussi été développés pour améliorer la capacité de ces derniers à détecter des polypes<sup>17</sup>.

L'IA a par ailleurs l'avantage de ne pas être soumise aux limites humaines classiques (fatigue, horaires de disponibilité). Ainsi, dans une étude comparant la performance d'un algorithme de type *deep learning* recherchant 14 anomalies « cliniquement importantes » dans des radiographies thoraciques *versus* un diagnostic réalisé par des radiologues, le temps moyen mis par les humains pour interpréter 420 images était de 240 minutes contre 90 secondes pour les machines<sup>18</sup>.

Cela permet de multiplier le nombre d'images étudiées (et par exemple d'analyser l'ensemble des lames anatomopathologiques disponibles plutôt qu'un échantillon). Il est également possible de réaliser, pour un coût limité, un contrôle qualité indépendant des lectures humaines (par exemple la relecture de l'ensemble des électrocardiogrammes d'un hôpital ou la recherche de fractures sur l'ensemble des radiographies osseuses réalisées aux urgences pour traumatismes).

Mais les avancées dans le domaine diagnostique ne se limitent pas à l'analyse d'images. Elles concernent aussi tous les diagnostics complexes, par exemple pour les maladies rares ou lorsqu'il faut prendre en compte des données multiples issues de sources différentes. Chaque diagnostic, chaque décision lors de la prise en charge d'un malade, pourrait être personnalisé et adapté en temps réel en incorporant les leçons de l'expérience collective, comme si chaque décision prise était revue instantanément par une équipe des meilleurs experts.

## **La surveillance et la détection précoce**

Des algorithmes de prédiction des risques d'aggravation ou d'identification précoce d'une rechute utilisant les données de suivi fournies par les outils numériques pourraient permettre de passer d'une médecine réactive à une médecine proactive, en particulier pour les malades chroniques. Par exemple, une surveillance *via* des questionnaires électroniques où les patients souffrant de cancers rapporteraient chaque semaine leurs symptômes permettrait d'adapter plus finement le rythme de leurs consultations de suivi et constituerait une avancée par rapport aux consultations à date fixe<sup>19</sup>.

## **INTERVENIR ET PERSONNALISER CES INTERVENTIONS**

### **Faciliter le dialogue grâce à des agents conversationnels**

Les agents conversationnels, ou *chatbots*, sont des outils qui dialoguent avec un utilisateur en essayant de lui donner l'impression

qu'il converse avec une personne réelle, ce qui est facilité par la tendance naturelle des gens à traiter les agents conversationnels comme des humains, même quand ils savent qu'ils ne le sont pas. Ces agents peuvent interpréter la parole humaine grâce à des méthodes de reconnaissance vocale et de traitement naturel du langage et répondent avec une voix synthétique.

Ils repèrent surtout des mots dits « déclencheurs », voire des expressions, pour retrouver des réponses dont le schéma est programmé et peuvent ainsi mener la conversation de manière plus sophistiquée, sans avoir besoin de « comprendre » de quoi ils parlent. Ce champ de recherche est très actif, et de nombreux agents ont été développés, en particulier dans le domaine du support psychologique pour diverses situations (asthme, hypertension, diabète de type 2, cancer du sein, apnée obstructive du sommeil, santé sexuelle, surveillance de la douleur et troubles du langage)<sup>20</sup>.

### **Déployer à grande échelle des interventions visant à modifier des comportements**

Brian Jeffrey Fogg, de Stanford University, mène de nombreux travaux visant à utiliser des algorithmes conçus pour changer les attitudes ou les comportements des utilisateurs par la persuasion et l'influence sociale, et non par la coercition. C'est une nouvelle approche, appelée « *persuasive technology* » ou *captology*. Contrairement aux médias traditionnels, les ordinateurs permettent l'interactivité<sup>21</sup>. Ils ont également plusieurs avantages par rapport aux agents de persuasion humains : ils sont plus persistants et ne sont jamais découragés, fatigués ou frustrés ; ils peuvent travailler vingt-quatre heures sur vingt-quatre ou attendre le meilleur moment pour intervenir ; ils permettent l'anonymat, ce qui est un avantage pour certains comportements ou domaines sensibles (comme les comportements sexuels ou le support psychologique) ou pour aider à surmonter certaines pressions sociales. La quantité de données qu'ils peuvent utiliser est largement supérieure aux capacités humaines, ce qui leur permet de faire des recommandations souvent très adaptées (ce que chacun peut vérifier avec les plates-formes de musique en ligne par exemple). Ils peuvent utiliser des modes de présentation

variés pour répondre aux préférences des gens en matière de supports visuels, audio ou textuels et créer un effet synergique en combinant les modes de communication. Leurs capacités d'ubiquité et de mise à l'échelle lorsque la demande augmente sont un autre avantage majeur : ils peuvent accéder à des endroits où les agents de persuasion humains ne seraient pas les bienvenus (ainsi une brosse à dents connectée dans une salle de bains) ou suivre le malade en permanence (comme les tissus connectés).

Détourner ces méthodes très efficaces de modification des comportements utilisées actuellement principalement comme incitation à la consommation (comme le font quotidiennement les acteurs majeurs du monde numérique comme Google ou Facebook) afin d'améliorer la santé de la population est une opportunité majeure. Ainsi, mettre en œuvre des interventions pour aider les gens à arrêter de fumer, à faire de l'exercice, à réduire leur taux de cholestérol et contrôler leur tension artérielle pourrait théoriquement empêcher respectivement, selon certaines estimations, environ 328 000, 178 000, 133 000 et 68 000 décès, chaque année aux États-Unis<sup>22</sup>. Dans de nombreux cas, ces interventions ne peuvent actuellement être mises en œuvre, faute de moyens et de personnel.

Des interventions à distance, en temps réel, régulières, interactives, personnalisées lors de leur initiation puis adaptées au cours du temps en fonction des réactions et attentes du malade peuvent être développées. Elles peuvent en particulier être adaptatives (*just-in-time adaptive intervention* ou JITAI) et fournir un soutien sur mesure avec le bon type et la bonne quantité de soutien au moment précis du besoin<sup>23</sup>.

Ces JITAI ont trois caractéristiques principales : d'abord, une intervention comportementale qui correspond directement à un besoin en temps réel ; ensuite, un contenu ou un calendrier du soutien adapté en fonction des données recueillies par le système ; enfin une intervention déclenchée par le système.

Les progrès technologiques peuvent également transformer les moyens par lesquels les interventions destinées à modifier les comportements, issues par exemple de recherches en sciences sociales et comportementales, sont mises en œuvre. À ce titre, les smartphones et objets connectés, de plus en plus largement répandus et accessibles, deviennent des outils majeurs.

## **Adaptation en temps réel**

Il est devenu possible d'adapter certains traitements en temps réel en fonction de dosages biologiques. Les systèmes de surveillance en continu de la glycémie couplés à l'adaptation automatique des doses d'insuline délivrées par des pompes pour les patients diabétiques de type I sont un exemple emblématique<sup>24</sup>. Un tel système permet d'atteindre des objectifs thérapeutiques de glycémie beaucoup plus ambitieux sans augmenter les risques d'accidents hypoglycémiques. Le temps passé avec une glycémie inférieure aux valeurs choisies comme objectif thérapeutique peut ainsi être augmenté.

## **Réduire la charge de travail, augmenter la productivité**

Les charges de travail trop élevées sont un problème récurrent dans le domaine de la santé. C'est un facteur reconnu de stress et d'épuisement professionnel qui entraîne des répercussions sur la qualité des soins. Les tâches administratives contribuent considérablement à cette charge de travail et à la pression subie par le personnel soignant. Selon une étude par observation directe, les médecins de famille américains, dont la journée de travail dure 11,4 heures en moyenne, en consacraient six à la saisie des données dans le dossier médical électronique (4,5 heures de ce temps ayant lieu pendant les heures d'activité clinique et environ 1,4 heure après). Ces 6 heures correspondaient principalement à des tâches administratives, notamment la documentation, la saisie des ordonnances, la facturation et le codage, la gestion de la sécurité du système et de leur boîte mail (par exemple réceptionner des résultats d'examens et les intégrer dans le dossier des patients)<sup>25</sup>. Lorsqu'ils sont dans la salle de consultation avec les patients, les médecins consacrent 52,9 % de leur temps à des activités cliniques directes et 37,0 % à s'occuper du dossier médical électronique et à réaliser du travail de bureau.<sup>26</sup>

L'intelligence artificielle peut rendre certains processus répétitifs ou à faible valeur ajoutée plus rapides et plus efficaces. Il ne fait guère

de doute qu'elle pourrait réduire le temps passé à certaines tâches administratives. Un rapport récent estime que la transcription de la voix en texte pourrait entraîner un gain de temps de travail de 17 % pour les médecins et de 51 % pour les infirmières<sup>27</sup>.

De nombreuses données médicales actuellement contenues dans les documents médicaux le sont sous forme de texte libre, comme les notes de médecins et parfois les dossiers des patients. L'extraction manuelle de ces données est extrêmement chronophage. Amazon a développé un service de traitement du langage naturel (Amazon Comprehend Medical) qui utilise le *machine learning* pour extraire ces données de santé à partir d'un texte médical non structuré (compte-rendu radiologique, observation médicale, etc.). Le remplissage automatique des champs de données structurées à partir des notes en texte libre des cliniciens ou soignants ou la retranscription des informations provenant des entretiens avec les patients pour fournir un document lisible peut réduire considérablement la charge administrative des soignants.

Des techniques similaires sont actuellement utilisées pour automatiser le codage à partir des documents médicaux produits par les professionnels dans le cadre de la tarification à l'activité. Ceci permettrait non seulement de réduire le temps médical dédié mais aussi de limiter les pratiques inappropriées d'optimisation du codage.

Plus généralement, l'intelligence artificielle promet aux prestataires de soins de santé de gérer les soins d'un plus grand nombre de patients sans accroissement des moyens dont ils disposent. Dans le domaine des soins infirmiers, par exemple, certains pensent que l'IA pourrait augmenter la productivité de 30 à 50 %<sup>28</sup>.

Dans un rapport du National Health Service (NHS, le système de santé publique britannique), l'impact en termes de productivité a été estimé à partir d'une série de scénarios hypothétiques obtenus en mixant des résultats d'études de cas développés dans différents hôpitaux avec l'opinion d'experts, les preuves publiées et des données disponibles<sup>29</sup>. Ce travail était basé sur l'hypothèse que les technologies concernées arrivent à maturité et seront adoptées dans l'ensemble du NHS. Eric Topol insiste sur le fait que, les incertitudes concernant ces scénarios étant multiples, les chiffres donnés ne sont que des approximations de premier ordre. Les exemples pris sont très variés : clinique virtuelle pour le suivi des fractures, applications sur



smartphone pour le suivi des malades atteints de broncho-pneumopathies chroniques obstructives ou le suivi du diabète gestationnel, suivi à distance des personnes âgées résidant à leur domicile avec visite d'infirmières, reconnaissance vocale pour remplacer l'écriture manuelle, saisie informatique ou dictée vocale aux urgences, utilisation du *deep learning* pour le dépistage par mammographie du cancer du sein en supprimant le second lecteur.

Dans l'exemple de la reconnaissance vocale aux urgences, en prenant une estimation pessimiste d'une minute gagnée par malade (dans l'expérimentation, c'était trois), pour 24 millions de consultations aux urgences, 400 000 heures étaient épargnées annuellement, soit 230 équivalents temps plein de médecins. Ces chiffres sont encore plus impressionnants dans l'hypothèse (non vérifiée) où un tel système pourrait être étendu aux 340 millions de consultations des médecins généralistes. Ce serait alors 5,7 millions de consultations épargnées, soit le temps de travail de 3 200 médecins pouvant de nouveau se consacrer aux soins.

En ce qui concerne l'analyse automatique des images de mammographie, dans une hypothèse conservatrice où la réduction du temps passé est de 20 % (supprimer le second lecteur diminue en fait le temps de 30 %), cela correspondrait à 890 000 heures de radiologues soit 500 équivalents temps pleins.

Pour le suivi à distance des personnes âgées et les téléconsultations avec des médecins expérimentés, un tel suivi réduirait de 40 % les transports en ambulance, les consultations aux urgences et les admissions à l'hôpital, soit une réduction potentielle de 1,7 million de journées d'hospitalisation.

À nouveau, il convient de rappeler que ce ne sont que scénarios, qui néanmoins permettent d'estimer le potentiel de ces transformations organisationnelles.

Il ne fait cependant guère de doute que les bénéfices atteignables et l'impact sur les finances publiques pourraient être considérables. Le coût des maladies chroniques représente environ 75 % de celui total des soins, et l'on estime que pour certaines d'entre elles, la moitié des hospitalisations est évitable. Le coût du transport des malades en France est de l'ordre de 5 milliards d'euros, et il semble possible de le réduire très largement (certains parlent d'une réduction de 30 à 50 %). Les coûts indirects liés au temps perdu lors des déplacements

pour les malades chroniques ayant une activité professionnelle n'est pas chiffré mais est probablement également considérable.

## Quelques exemples

Les exemples sont multiples, de nouveaux usages apparaissent sans cesse, et notre objectif est uniquement d'illustrer la diversité des utilisations possibles de l'intelligence artificielle ou des outils digitaux sans la moindre ambition d'exhaustivité.

### AIDE AU DIAGNOSTIC

Le NHS (National Health Service) britannique développe par exemple un agent conversationnel pour effectuer du triage dans le domaine de la santé mentale qui analyse le texte et la voix de son interlocuteur pour repérer des idées suicidaires<sup>30</sup>. Il a pour ambition d'aider à identifier les patients à haut risque de suicide.

Une revue systématique récente conclut que l'utilisation d'agents conversationnels intelligents pour la détection des troubles psychiques est un domaine de recherche émergent et prometteur, avec une large couverture des troubles mentaux mais que les études dans ce domaine devraient être méthodologiquement plus rigoureuses<sup>31</sup>.

L'intelligence artificielle a également été utilisée pour aider au diagnostic souvent difficile des patients atteints de maladies rares. Un outil (Dr. Warehouse) a été développé pour trouver, lorsque l'on est en face de malades de diagnostic difficile, des cas ressemblants (c'est-à-dire ayant des caractéristiques phénotypiques similaires) dont le diagnostic est déjà posé<sup>32</sup>. Cet outil calcule le degré de similarité entre un patient donné et les 400 000 patients de l'entrepôt de données de l'hôpital universitaire Necker-Enfants Malades. Les concepts extraits des comptes-rendus en texte libre retrouvés dans les dossiers médicaux électroniques sont utilisés pour la construction de cet index de similarité.

## DÉPISTAGE OPPORTUNISTE

Si l'hôpital est considéré comme un lieu de diagnostic et de traitement, il l'est encore insuffisamment comme lieu de prévention. Les données qui y sont recueillies en routine dans le cadre du suivi de malades chroniques pourraient être utilisées dans le cadre d'un dépistage opportuniste. Pour illustrer ce point on peut citer par exemple les travaux de Kinar *et al.*<sup>33</sup> pour identifier les personnes présentant un risque élevé de cancer colorectal. Ils ont utilisé les dossiers médicaux électroniques de malades israéliens et britanniques pour développer un modèle de prédiction assisté par l'IA. En tenant compte de quelques paramètres (âge, sexe et données biologiques de routine de la numération formule sanguine, notamment le taux d'hémoglobine et le volume moyen des globules rouges<sup>34</sup>), le modèle développé permettait de prédire un risque accru de survenue d'un cancer colorectal dans les 3 à 6 mois suivants avec des performances diagnostiques intéressantes.

De nombreuses autres données collectées dans le cadre du soin pourraient être utilisées pour identifier des malades à risque de diverses maladies. On citera par exemple les données des tomodensitométries du thorax et/ou de l'abdomen réalisées pour différentes indications cliniques qui peuvent constituer une occasion de dépistage opportuniste de l'ostéoporose sans coût, temps ou exposition aux radiations supplémentaires pour les patients<sup>35</sup>. Les valeurs d'atténuation trabéculaire au niveau de la première vertèbre lombaire peuvent être mesurées, manuellement ou de manière automatisée, à partir des images de tomodensitométrie et sont corrélées de manière étroite avec la densité minérale osseuse mesurée par d'autres méthodes.

## VÉRIFICATION DE L'ADHÉSION À DES RÈGLES

Plusieurs études ont été réalisées pour vérifier le respect de gestes barrières pour la prévention du Covid-19. Ainsi, le robot Pepper (robot humanoïde développé par SoftBank Robotics Europe) a été utilisé dans diverses situations (hôpitaux, aéroports, centres commerciaux) pour détecter l'absence de port de masques, le non-respect de la

distanciation sociale et sensibiliser le personnel soignant ou les patients à l'importance des gestes barrières.

## **SUPPORT PSYCHOLOGIQUE**

Les agents conversationnels ont des utilisations multiples et certains peuvent opérer de réelles interventions thérapeutiques non pharmacologiques.

Ainsi, certains ont été développés pour traiter la détresse psychologique légère à modérée chez des adultes. Ce support psychologique a l'avantage de pouvoir être disponible en permanence, de manière anonyme, quel que soit l'endroit où l'on se trouve et sans prise de rendez-vous. L'évaluation de ces interventions reste incomplète et les essais randomisés rares et de qualité souvent médiocre (taille d'effectif réduite, hétérogénéité des critères de jugement). Cependant cinq études contrôlées randomisées ont démontré des réductions significatives de la détresse (par comparaison à un groupe témoin ne recevant pas de traitement), avec des effets traitement d'ampleur variable<sup>36</sup>.

À l'heure où des programmes multiples sont accessibles, il faut rester prudent car ces interventions, comme toute intervention en santé, doivent être évaluées avec soin. Toutes ne sont pas efficaces et certaines peuvent même être délétères. Un essai américain de grande taille récent (plus de 18 000 malades) a montré que chez les adultes présentant des idées suicidaires, offrir une brève formation à la thérapie comportementale en ligne (introduisant quatre compétences : pleine conscience, conscience de l'émotion actuelle, action opposée et respiration rythmée) augmente de manière significative le risque d'automutilation, par rapport aux soins habituels<sup>37</sup>.

## **PERSONNALISATION DES SOINS**

Les données massives pouvant être obtenues grâce à des capteurs couplés à des algorithmes permettent de modifier profondément certains soins, et influencer les objectifs thérapeutiques. L'exemple du diabète est particulièrement édifiant. Les soins usuels du diabète de type I étaient basés sur une autosurveillance du malade à l'aide de

quelques glycémies capillaires mesurées lors d'une piqûre au bout du doigt, d'un suivi biologique régulier avec une mesure de l'hémoglobine A1C (qui permet d'évaluer l'équilibre glycémique des trois derniers mois) tous les trois mois et avec des consultations de suivi à intervalles régulier auprès d'un diabétologue qui adapte le traitement. L'adaptation des doses d'insulines requises garde nécessairement une marge importante de sécurité pour éviter, en particulier, les accidents hypoglycémiques. Il ne fait nul doute qu'une adaptation plus fine de la glycémie peut être obtenue avec un système d'administration en boucle fermée (pancréas artificiel) combinant un capteur mesurant cette glycémie et une pompe à insuline, couplés à un algorithme qui en contrôle l'administration sur la base des mesures en temps réel de la glycémie sanguine. Cette adaptation plus fine permet d'obtenir un meilleur contrôle glycémique sans augmenter le risque d'hypoglycémies<sup>38</sup>.

On pourrait encore sophisticationner le système en intégrant dans les algorithmes des informations issues de capteurs d'activité physique ou en communiquant des informations sur la composition des repas effectués (par exemple en prenant en photos les aliments consommés). On pourrait également imaginer utiliser un coach virtuel pour accroître l'activité physique du malade, réaliser une intervention nutritionnelle personnalisée pour modifier son microbiote<sup>39</sup> ou, à un stade plus avancé de sa maladie, utiliser des chaussettes connectées pour détecter le risque d'une atteinte du pied (une complication classique du diabète).

## SUIVI À DISTANCE

Le suivi à distance pourrait réduire le fardeau du traitement, éviter des déplacements inutiles, réduire le temps passé par les malades dans les établissements de soins (moins de consultations présentes et moins d'hospitalisations), protéger le malade en informant plus rapidement les soignants qui le suivent de toute évolution de son état de santé.

Le cas des malades atteints d'insuffisance cardiaque est un exemple classique<sup>40</sup>. Une intervention associant transmission quotidienne de divers paramètres (poids corporel, pression artérielle systolique et

diastolique, fréquence cardiaque, rythme cardiaque, saturation en oxygène capillaire périphérique et autoévaluation), évaluation du risque à l'aide de biomarqueurs, éducation du patient et coopération entre le centre de suivi à distance, le médecin généraliste et le cardiologue entraîne une réduction de la mortalité à un an de 30 % environ<sup>41</sup>.

Le suivi à distance permet également d'améliorer la qualité et la durée de vie de malades atteints de certains cancers, avec des effets sur la durée de survie parfois comparables à certaines chimiothérapies. Cela a été démontré dans le cadre d'essais randomisés en particulier dans le suivi des malades ayant subi une chimiothérapie pour un cancer du poumon. Un questionnaire comprenant treize questions sur leurs symptômes transmis chaque semaine à l'équipe de soins s'accompagnait d'une augmentation de la durée de vie par rapport à un suivi classique<sup>42</sup>. Les rechutes étaient détectées plus précocement et les patients étaient alors plus souvent dans un état leur permettant de recevoir le traitement optimal. Un autre essai randomisé chez des malades recevant une chimiothérapie pour divers cancers (cancer du sein, cancer colorectal, lymphomes) a permis de constater que la collecte quotidienne par les patients eux-mêmes d'une échelle de toxicité de la chimiothérapie associée à une mesure de température digitale réduisait les symptômes et améliorerait leur qualité de vie<sup>43</sup>.

Les bébés prématurés passent souvent des semaines ou des mois dans une unité de soins intensifs néonataux (USIN). Leurs parents sont confrontés au défi de prendre soin d'eux et d'acquérir leur rôle parental après leur sortie de l'USIN. Cette période est bien sûr très compliquée sur le plan familial, un des parents dormant fréquemment à l'hôpital. La transition de l'hôpital à la maison est également une expérience souvent difficile. Un programme développé au University of Virginia Children's Hospital (États-Unis) permet de raccourcir ces séjours hospitaliers grâce à une nouvelle application iPad associé à une série de capteurs utilisés permettant de suivre le nourrisson à distance en surveillant son alimentation, son poids, ses constantes physiologiques. Les données de surveillance sont transmises à l'hôpital et permettent aux médecins de prendre les décisions nécessaires à distance, ce qui est extrêmement rassurant.

## La maturité technologique est suffisante

Les smartphones, capteurs, objets connectés, sont largement disponibles et leur coût est assez faible. Certaines données de santé sont générées de manière continue et passive par les patients eux-mêmes, sans frais, à l'aide d'appareils personnels, de capteurs corporels ou domestiques. Ces données recueillies passivement, plus facilement accessibles et parfois disponibles en temps réel, peuvent être complétées par des évaluations des sujets dans leur environnement naturel (ou *ecological momentary assessment*).

Par ailleurs, la production de données directement sous un format numérique (comme les données biologiques ou d'imagerie) ou saisies dans un second temps sous un format numérique (comme les dossiers médicaux électroniques) s'est considérablement accrue. La capacité de transformation des données non structurées (texte libre), fréquentes dans le domaine de la santé, a beaucoup progressé et elles peuvent maintenant être structurées d'une manière utilisable par des ordinateurs. Les capacités d'analyses se sont également accrues avec l'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs et le développement de nouvelles méthodes d'analyse. Les ingénieurs nécessaires pour l'analyse de ces données massives demeurent cependant un des facteurs limitants, et la compétition entre les différents secteurs d'activité économiques dans des domaines comme la science des données ou l'intelligence artificielle est rude.

## Malades et aidants conscients de l'intérêt de ces technologies

Les malades expriment souvent des inquiétudes sur la fiabilité des technologies ou sur la sécurité des données. Ils peuvent également se demander si une surveillance digitale n'est finalement pas plus contraignante qu'une prise en charge classique.

Les barrières à leur utilisation ont été explorées dans une enquête réalisée auprès de 1 153 malades chroniques participant à la cohorte Compare, qui regroupe donc des malades habitués à remplir des questionnaires en ligne<sup>44</sup>. Environ 47 % d'entre eux considéraient le

développement des outils numériques et de l'IA dans les soins de santé comme une grande opportunité. Selon eux, ces outils peuvent améliorer leur suivi et la réactivité des soins, réduire le fardeau du traitement ou faciliter le travail des médecins (par exemple, en automatisant les tâches répétitives). Au contraire, 11 % y voyaient un danger important, et craignaient que ces outils ne remplacent de manière inadéquate l'intelligence humaine, ne présentent des risques sérieux de piratage ou ne conduisent à une utilisation abusive de leurs données privées par les soignants ou les compagnies d'assurances. Les malades ont aussi évalué quatre scénarios présentant des interventions déjà existantes : le dépistage du mélanome par une IA à partir de photographies de lésions cutanées prises par les patients eux-mêmes ; le suivi des patients chroniques pour prédire les exacerbations de leurs maladies ; les vêtements connectés pour personnaliser la kinésithérapie à domicile ; les agents conversationnels pour évaluer la sévérité des patients lorsqu'ils appellent un numéro d'urgence. Environ 80 % des participants étaient prêts à utiliser la technologie dans leurs soins, et plus ils l'ont déjà utilisée, plus ils semblent enclins à le refaire. Seule une fraction d'entre eux était prête à le faire sans contrôle humain (de 10 % pour le dépistage du cancer de la peau à 36 % pour l'utilisation d'agents conversationnels pour les aider à déterminer le degré d'urgence de leurs problèmes).

La perception du caractère intrusif des capteurs est un frein potentiel à leur utilisation. La parcimonie de la collecte (qui doit être strictement limitée à ce qui est nécessaire), la transparence vis-à-vis des utilisateurs, le contrôle des paramètres de confidentialité et la protection des données sont nécessaires pour concevoir tout outil de mesure si l'on espère gagner la confiance des patients, et qu'elles soient adoptées et utilisées de manière continue<sup>45</sup>.

L'efficacité minimale requise pour adopter la surveillance numérique à distance varie considérablement d'une personne à l'autre pour des modalités identiques. Deux tiers des participants adopteraient un suivi digitalisé à distance s'il était un peu plus efficace que leurs soins actuels pour améliorer les résultats de santé. La moitié des malades environ choisirait, si c'était possible, d'être suivi avec un mixte de consultations en face-à-face et de consultations à distance<sup>46</sup>.

Malgré le nombre croissant d'outils numériques susceptibles d'être utiles aux aidants familiaux, la majorité d'entre eux n'en profitent pas.



Selon une étude de 2016, seuls 7 % utilisent ou ont utilisé une technologie disponible pour les aider<sup>47</sup>. Selon cette même étude, les freins sont la difficulté à identifier, parmi les multiples outils existants, ceux qui sont utiles ou moins utiles en raison du manque de temps. Par ailleurs, ils se plaignent de la multiplicité des applications qui ne gèrent qu'un point très spécifique et préféreraient utiliser le moins d'outils possible et qu'ils soient intégrés les uns aux autres<sup>48</sup>. Le simple fait de chercher et d'apprendre à utiliser un nouvel outil peut s'avérer un obstacle dissuasif sinon insurmontable faute de temps, d'autant plus qu'ils bénéficient rarement d'un soutien humain pour identifier les plates-formes les plus utiles, pour les configurer si nécessaire et leur apprendre à les utiliser.

## **Un intérêt marqué des soignants pour ces technologies**

Si les attentes des soignants, et en particulier celles des médecins, sont importantes, les mises en œuvre pratiques restent rares. Une étude récente chez des médecins hospitaliers universitaires allemands montre que plus de 70 % d'entre eux ont une attitude positive ou très positive vis-à-vis de l'utilisation de l'intelligence artificielle en médecine<sup>49</sup>. Plus de 90 % d'entre eux considèrent que le futur de la médecine sera un mélange d'intelligences humaine et artificielle mais qu'une évaluation rigoureuse est indispensable avant une mise en œuvre systématique. Les attentes les plus fortes concernent les champs de la médecine où de grandes quantités de données sont traitées (par exemple en imagerie diagnostique ou en anatomopathologie) ou collectées en routine (par exemple en cardiologie ou soins intensifs). Environ 87 % d'entre eux considèrent que cela changera leur métier. Dans une étude réalisée spécifiquement auprès d'anatomopathologistes de 54 pays, 40 % prédisaient que l'IA serait introduite dans leurs laboratoires dans les cinq ans et 80 % dans la décennie à venir<sup>50</sup>. Si les médecins sont sensibles à ces technologies, les usages et pratiques restent à définir et des inquiétudes persistent, notamment sur la charge de travail ajoutée<sup>51</sup>.

1. The Topol Reviews, 2019.
2. Hsin *et al.*, 2018.
3. Jain *et al.*, 2015; Torous *et al.*, 2016.
4. Kim *et al.*, 2019.
5. Fagherazzi & Ravaud, 2019.
6. <https://www.texisense.com/fr/>
7. Swan, 2013.
8. Case *et al.*, 2015 ; Wang *et al.*, 2017.
9. Sreenilayam *et al.*, 2020 ; Zhang *et al.*, 2020 ; Vinoth *et al.*, 2021.
10. <https://patents.google.com/patent/US20170334139A1/en>
11. FDA, 2019.
12. Rajpurkar *et al.*, 2022.
13. *Ibid.*
14. Beam & Kohane, 2016.
15. Esteva *et al.*, 2017 ; Gulshan *et al.*, 2016 ; Campanella *et al.*, 2019.
16. Zhou *et al.*, 2020.
17. Gong *et al.*, 2020 ; Wang *et al.*, 2020.
18. Rajpurkar *et al.*, 2018.
19. Basch *et al.*, 2017.
20. Laranjo *et al.*, 2018 ; Bérubé *et al.*, 2021.
21. Fogg, 2003.
22. Woolf, 1999.
23. Nahum-Shani *et al.*, 2015 et 2016.
24. Bally *et al.*, 2018.
25. Arndt *et al.*, 2017.
26. Sinsky *et al.*, 2016.
27. Accenture. Artificial intelligence is the future of growth. <https://www.accenture.com/us-en/insight-artificial-intelligence-futuregrowth>
28. *Ibid.*
29. The Topol review, 2019.
30. Code4Health.
31. Pacheco-Lorenzo *et al.*, 2021.
32. Garcelon *et al.*, 2017.
33. Kinar *et al.*, 2016.
34. MeScore, Calgary, Alberta, Canada.
35. Jang *et al.*, 2019.
36. Gaffney *et al.*, 2019.
37. Simon *et al.*, 2022.
38. Bally *et al.*, 2018.
39. Zeevi *et al.*, 2015.
40. Koehler *et al.*, 2018.

41. *Ibid.*
42. Denis *et al.*, 2017a et b, 2019.
43. Maguire *et al.*, 2021.
44. Tran *et al.*, 2019.
45. Torous & Roberts, 2017.
46. Oikonomidi *et al.*, 2021.
47. Caregivers & Technology, 2016.
48. *Ibid.*
49. Maassen *et al.*, 2021.
50. Sarwar *et al.*, 2019.
51. Chevance *et al.*, 2022.

## CHAPITRE 3

# Une opportunité pour modifier nos organisations des soins

« Ce n'est pas en cherchant à perfectionner la bougie qu'on a découvert l'électricité », Edouard Brézin.

« The transition from reimagining to recreating health care is now », J. Hollander.

**L**es difficultés et limites de notre système de soins nécessitent, de l'avis de tous, soignants comme usagers, des évolutions importantes. Les nouvelles technologies numériques pourraient permettre de faciliter certaines tâches. Le numérique et l'IA entraîneront nécessairement une évolution des relations malade-soignant, une modification des métiers et du rôle des différents acteurs (disparition de certains métiers, apparition de nouveaux, adaptation des rôles de chacun) comme de l'organisation des soins (expertise, parcours de soins, suivi des malades), et un changement de la chaîne de valeurs. Aussi paradoxal que cela puisse paraître, l'émergence du numérique pourrait permettre de renforcer la continuité du lien soignant-soigné et la part humaine des soins.

## Revisiter le lien soigné-soignant

Les outils numériques remettent en question le lien soignant-soigné et conduiront probablement à sa redéfinition. Il est nécessaire

d'anticiper leur influence, non seulement dans la dyade soignant-soigné, mais plus largement dans l'organisation sociale des soins. Dans le modèle actuel, le financement à l'acte soutient un modèle réactif qui prend le plus souvent la forme de face-à-face occasionnels (consultations externes) à intervalles fixes et planifiés et, si nécessaire, d'hospitalisations non programmées (en particulier pour les rechutes des malades chroniques). Les contacts avec les médecins entre ces rendez-vous planifiés sont rares et le malade n'est pas censé les joindre pendant ces périodes, l'informer de sa santé ou lui poser de questions, sauf en cas de problèmes qu'il juge urgents. S'il pense que son état nécessite un contact (qu'il soit simplement inquiet, ou que son état ait réellement changé), il devra, pour joindre le médecin, passer différents filtres souvent très dissuasifs.

Il serait désormais possible d'évoluer vers une relation plus continue ou le lien soigné-soignant deviendrait permanent. Dans ce nouveau modèle, le contact entre deux consultations pourrait devenir la règle, et la nécessité d'établir un nouveau contact direct (une consultation en face-à-face, un appel téléphonique ou une téléconsultation) serait réévaluée en permanence grâce aux informations transmises par le malade. Le choix des modalités de contact retenues serait toujours décidé après un échange avec le médecin, permettant de déterminer celles convenant le mieux. Ces modalités de suivi devraient être réévaluées à chaque nouveau contact et pourraient varier d'un individu à l'autre et, pour un même individu, au cours du temps selon les situations cliniques. Elles devront prendre en compte les possibilités d'accès de chaque malade à certaines technologiques (accès internet à haut débit, à un ordinateur ou un smartphone), ainsi que son savoir-faire technologique ou informatique et sa littératie numérique (définie comme la capacité à repérer, classer, comprendre, évaluer de l'information à partir des outils numériques et des technologies de l'information). Certaines modalités de délivrance des soins seront probablement moins adaptées à certaines populations fragiles (à faibles revenus, personnes âgées, personnes handicapées).

## **D'une médecine réactive à une médecine**

## proactive

Un suivi continu des malades atteints de maladies chroniques couplé à l'usage d'algorithmes de suivi devrait permettre de déceler les aggravations ou rechutes à un stade infraclinique, de les prendre en charge plus précocement et ainsi d'éviter une grande partie de leurs hospitalisations. En assurant une meilleure surveillance entre deux consultations ou après une hospitalisation ou un passage aux urgences, on améliorerait la réactivité des décisions médicales et, *in fine*, la santé des patients. Par exemple, on l'a vu, chez les malades souffrant d'un cancer une surveillance *via* des questionnaires électroniques hebdomadaires dans lesquels ils rapportent une liste précise de symptômes permet d'augmenter significativement leur survie à un an.

Il est possible également de réaliser des évaluations dites « écologiques » momentanées (ou *ecological momentary assessment*), une méthode de collecte de données *in situ* utilisée pour mesurer itérativement un comportement à l'aide de courtes questions affichées par exemple sur un smartphone<sup>1</sup>. Ce type d'évaluations émotionnelles, comportementales et psychologiques en temps réel pourraient aider à identifier les personnes à haut risque de suicide nécessitant une intervention rapide<sup>2</sup>.

## Réorienter le système vers la prévention

La prévention est peu développée en France, ce qui est regrettable. Agir sur les comportements à l'origine de nombreuses maladies chroniques est important et nécessaire. Nous savons aujourd'hui les modifier, mais, faute de moyens humains disponibles et de financement *ad hoc*, nous n'intervenons qu'insuffisamment, trop tardivement et rarement à long terme.

## MODIFIER LES COMPORTEMENTS

Permettre un accès large à des interventions visant à modifier les comportements de dizaines de millions de fumeurs, à aider les personnes en surpoids à modifier leurs habitudes alimentaires, à

éduquer les patients sur leurs pathologies et apporter un support psychologique aux millions de malades chroniques est désormais envisageable. Il est impossible d'intervenir avec des méthodes habituelles impliquant des professionnels de santé auprès des vingt millions de malades chroniques en France, faute de moyens humains. Les interventions numériques peuvent, elles, théoriquement, être délivrées vingt-quatre heures sur vingt-quatre, à long terme, pour tous ceux qui le désirent et à un faible coût.

L'efficacité de ces interventions est probablement moindre que celle d'interventions humaines idéales (dispensés par un personnel hautement entraîné disponible à long terme, etc.), mais elle est probablement supérieure à l'absence de toute intervention, qui reste le cas le plus fréquent. Ces interventions numériques peuvent sans difficulté être prolongées, contrairement aux interventions humaines qui, trop coûteuses, n'ont souvent une durée limitée et dont il serait naïf de penser qu'elles puissent être en mesure de modifier à long terme des comportements ancrés parfois depuis des décennies.

Ces interventions peuvent utiliser des techniques variées comme la « gamification », c'est-à-dire l'application de mécaniques de jeu (l'attribution de points, la compétition avec d'autres) à d'autres domaines d'activité<sup>3</sup>.

Si ces outils peuvent être des facilitateurs du changement, ils n'en sont pas les moteurs<sup>4</sup>, et l'on peut y associer une composante humaine pour renforcer la composante numérique.

## **PERSONNALISER CES INTERVENTIONS**

La plupart des interventions de soins classiques sont dispensées soit selon des approches dites « taille unique » (la même intervention est délivrée à tous les patients) soit en fonction d'une personnalisation initiale réalisée par le médecin qui tente d'adapter l'intervention au malade. Grâce à l'intelligence artificielle, la médecine de précision ne sera plus l'apanage des domaines pharmacologiques où existent des biomarqueurs (une caractéristique clinique, biologique, radiologique ou tumorale permettent d'adapter le traitement au patient). Il devient possible de développer des interventions adaptées aux

caractéristiques, aux objectifs et aux comportements des patients pour réaliser une médecine de précision numérique. Elles peuvent ensuite être personnalisées et adaptées en temps réel.

Cette personnalisation peut être basée sur les préférences, les choix ou les objectifs individuels du patient. Les interventions comportementales peuvent être considérées comme intrusives et il est nécessaire d'adapter aux patients leur mode d'administration, leur intensité et leur niveau d'intrusion. Celui perçu comme acceptable peut varier d'un malade à l'autre et au cours du temps chez un même malade.

La personnalisation peut également être basée sur le « personome » des patients (c'est-à-dire les caractéristiques personnelles et les circonstances de vie qui affectent la susceptibilité à la maladie, le phénotype et la réponse au traitement)<sup>5</sup>. Les composantes du personome sont multiples : traits de personnalité, profils psychologique et socio-économique, charge de travail sociale, familiale ou professionnelle, etc. Les marqueurs personomiques peuvent être mesurés à l'aide de questionnaires ou parfois en utilisant des données phénotypiques numériques comme des mesures continues du comportement ou de l'humeur à partir des capteurs du smartphone, de l'interaction avec le clavier ou de diverses caractéristiques de la voix et de la parole (avec l'accord du malade, bien évidemment)<sup>6</sup>.

La personnalisation peut aussi être basée sur les caractéristiques du comportement à modifier (nouveau ou ancien, à augmenter ou à réduire), avec un calendrier d'intervention (ponctuelle, durable ou permanente)<sup>7</sup>.

Elle peut être adaptée au cours du temps selon la réponse à l'intervention, en utilisant de nouvelles méthodes d'IA telles que les algorithmes de type « bandit contextuel » (développés en utilisant des méthodes d'apprentissage par renforcement)<sup>8</sup>.

## **Réduire la fracture de soins et l'impact des déserts médicaux**



Plusieurs millions de Français vivent dans des zones sous-denses en médecins appelés « déserts médicaux » où l'accès à un médecin généraliste et plus encore à des spécialistes est difficile ou demande de longs déplacements. La téléconsultation pourrait permettre d'améliorer l'accès aux soins. Mais ces territoires souffrent également fréquemment d'une fracture numérique et d'un vieillissement de la population qui ne facilite pas l'usage large de la téléconsultation ou des outils numériques.

Au delà de l'accès direct à des médecins généralistes ou spécialistes, c'est l'accès à une expertise adaptée à la ou les maladies dont souffrent les malades qui est en cause. La distance à un centre disposant d'une telle expertise est une source majeure d'inégalité. Être traité ou suivi pour certaines pathologies dans un centre n'ayant pas une masse critique ou une expertise suffisante (les deux sont souvent intimement liés) constitue souvent une perte de chance et de fait une véritable « fracture de soins ».

La demande des malades est claire : ils veulent avoir accès aux meilleurs experts. Cette expertise est d'autant plus importante que les maladies sont sévères, rares, complexes à traiter, mal connues ou que les avancées thérapeutiques ou diagnostiques sont plus rapides. Elle concerne également des maladies fréquentes mais encore insuffisamment connues (y compris parfois des spécialistes). Ainsi les malades atteintes d'endométriose ne souhaitent pas consulter des gynécologues mais bien des gynécologues spécialisés dans l'endométriose<sup>9</sup>. La médecine numérique, et en particulier la téléconsultation, pourrait aider à réduire cette fracture de soins territoriale en permettant un accès distanciel à l'expertise et donc des soins de meilleure qualité dans tous les territoires. Elle peut constituer ainsi une réponse partielle à la désertification médicale.

Dans le domaine spécifique des maladies rares, un maillage territorial a été organisé avec des centres de référence (qui rassemblent une équipe hospitalière hautement spécialisée ayant une expertise avérée pour une maladie rare) et des centres de compétence (qui assurent la prise en charge et le suivi des personnes atteintes de maladies rares au plus proche de leur domicile, lien avec le centre de référence dont ils dépendent fonctionnellement).

L'IA peut également apporter des outils d'aide à la décision dans des centres hospitaliers ou le niveau d'expertise ou la disponibilité des

experts est moindre (par exemple en dehors des horaires usuels de présence). Cela pourrait permettre également d'améliorer la qualité des décisions et donc des soins (par exemple pour tout ce qui concerne l'imagerie ou l'analyse d'électrocardiogrammes ou d'images anatomopathologiques).

1. Ponnada *et al.*, 2017.
2. Morgiève *et al.*, 2020.
3. Kawachi, 2017.
4. Patel *et al.*, 2015.
5. Ziegelstein, 2015.
6. Kosinski *et al.*, 2013 ; Jain *et al.*, 2015 ; Insel, 2017.
7. Fogg, 2003.
8. Tewari & Murphy, 2017 ; Nahum-Shani *et al.*, 2016.
9. Tran *et al.*, 2021.

## CHAPITRE 4

# Risques et limites

**L**es nouvelles technologies numériques (et en particulier d'algorithmes) s'accompagnent de craintes parfaitement légitimes sur les risques inhérents en termes d'éthique, d'atteintes à la confidentialité, de défaut d'équité, de biais potentiels, de validité ou de généralisabilité insuffisante. Il est indispensable de les connaître pour essayer de les éviter, ou au moins les contenir. Mais prendre en compte les risques (qui existent toujours, quelle que soit la technologie) est insuffisant, il faut aussi s'intéresser au rapport bénéfice/risque et évaluer le risque à *ne pas* les utiliser.

## Qualité des données

La qualité des algorithmes est indissociable de celle des données utilisées pour les développer. Elles sont souvent massives, et un faible volume peut être un facteur limitant. Pour autant, le parallèle fréquemment opéré entre la massivité des données et la qualité des algorithmes est un non-sens. Car à données massives, risque d'erreurs massives. Cet accent mis sur la massivité des données disponibles contraste souvent avec le peu d'intérêt porté à leur qualité ou à leur représentativité, qui sont tout aussi importantes. En fait, pour tout nouvel algorithme développé, il faut s'interroger sur la pertinence et la qualité du jeu de données utilisé.

# Validité des algorithmes

Les algorithmes dits « verrouillés », ou *locked-AI*, sont ceux où toute modification est basée sur de nouvelles informations recueillies dans le cadre d'une utilisation réelle. Ils nécessitent donc une vérification préalable à leur commercialisation. Ils peuvent être régulièrement modifiés à l'aide de nouvelles données, mais chaque mise à jour nécessite une nouvelle validation, comme toute modification substantielle d'un test diagnostique ou pronostique classique.

Les algorithmes adaptatifs, apprenants ou d'apprentissage continu, c'est-à-dire ceux qui évoluent continuellement à partir des nouvelles données et qui n'ont pas besoin d'être modifiés manuellement pour intégrer l'apprentissage ou les mises à jour, sont beaucoup plus complexes. L'avantage attendu est qu'ils s'améliorent sans cesse grâce à de nouvelles données. Le risque est que cette hypothèse soit trop forte. À ce jour, les méthodes pour les évaluer ne sont pas clairement établies.

## Biais et généralisabilité

Les algorithmes d'apprentissage automatique apprennent à partir de données réelles, traitées et annotées par un être humain, qui peut lui-même être inconsciemment biaisé. Ils peuvent donc refléter et répéter les biais implicites préexistants dans leurs données d'apprentissage, comme les préjugés raciaux et certaines associations stéréotypées<sup>1</sup>.

Ils peuvent également poser des problèmes de généralisabilité : les résultats qu'ils fournissent pour des populations autres que celles sur lesquelles ils ont été entraînés peuvent différer. Par exemple, on peut imaginer qu'un algorithme développé pour reconnaître, sur une peau blanche, une tumeur cutanée, appelée mélanome, le plus souvent brune ou noire, développée aux dépens des cellules responsables de la pigmentation de la peau, n'a pas la même capacité à la détecter sur une peau noire. Détecter une variation d'une tumeur sur peau noire

peut, d'un strict point de vue point analyse d'images, être plus complexe. Il est également possible que l'incidence de cette tumeur diffère selon le phénotype cutané, ce qui affectera la performance de l'algorithme en termes de prédiction. Les méthodologistes considèrent que les résultats d'un outil diagnostique ou pronostique ne peuvent s'appliquer à une population différente de celle utilisée pour le valider ; il ne semble pas qu'il y ait de raison de déroger sur ce point pour les algorithmes développés en utilisant l'IA. On peut rapprocher de cela les problèmes de certains capteurs comme les cardiofréquencemètres de nombreuses montres connectées dont l'exactitude semble moindre lorsqu'ils sont utilisés chez des individus dont la peau est foncée, parce qu'elles utilisent des lumières vertes que la mélanine absorbe, rendant la mesure plus imprécise.

Le problème est donc de ne pas utiliser de manière inappropriée dans une population un algorithme ou un capteur développés dans une population différente. Il est bien sûr également indispensable de financer le développement d'algorithmes dans des populations diverses correspondant à celles auxquelles on veut les appliquer.

Il faut aussi que les valeurs éthiques, sociales et politiques auxquelles devront se plier ces technologies soient définies, explicitée et garantir que les systèmes d'IA en tiennent compte et restent soumis au contrôle humain.

## **Effet « boîte noire »**

Dans certains cas, l'IA fonctionne comme une boîte noire, c'est-à-dire sans que l'on ait d'informations sur la manière dont elle parvient à la décision. C'est le cas en particulier lorsque l'on utilise les réseaux de neurones, qui font appel à des relations mathématiques complexes difficiles à comprendre pour des cerveaux humains, y compris pour ceux qui les ont développés. Pour accroître la confiance et se prémunir des biais éventuels du modèle, il faut, en théorie, que les médecins comprennent quelles caractéristiques discriminantes ont été utilisées dans le processus de prise de décision. La non-disponibilité d'une explication du résultat rend *a priori* impossible le respect du droit à l'information renforcée, comprenant notamment « des informations

utiles concernant la logique sous-jacente », présent dans le règlement général européen sur la protection des données. De nouvelles techniques sont en cours de développement pour tenter de rendre tout modèle « arbitraire » interprétable en étudiant l'influence indirecte de certains paramètres ou caractéristiques sur les résultats du modèle sans pour autant que ces paramètres n'entrent dans le modèle<sup>2</sup>. Ces paramètres peuvent influencer indirectement les résultats par le biais d'autres paramètres qui leur sont liés (par exemple les caractéristiques socio-économiques sont parfois non prises en compte dans les modèles mais le code postal du lieu de résidence est inclus et celui-ci reflète le plus souvent le niveau socio-économique individuel).

Il faut cependant noter que le consensus qui semblait se dégager dans le domaine de la santé pour exiger des algorithmes qu'ils soient toujours explicables est remis en cause. L'interprétabilité ou l'explicabilité d'un algorithme est moins importante si son exactitude est élevée et consistante et si les bénéfices cliniques qu'il apporte sont clairs<sup>3</sup>. Certains considèrent que l'on surestime les avantages et sous-estime les inconvénients qu'il y a à exiger que les algorithmes soient explicables<sup>4</sup> et qu'il faut prouver, dans la pratique, les avantages théoriques de l'explicabilité. Pour créer une IA digne de confiance (*trustworthy AI*), il existe des moyens plus directs, par exemple la transparence à propos de la qualité des données, la validation, interne et externe, rigoureuse des modèles, une régulation efficaces<sup>5</sup>. Enfin, l'acceptabilité sociale, éthique et politique de ces algorithmes doit être prise en compte.

## **Biais d'automatisation et interactions humain-machine**

Le biais d'automatisation est défini comme « la tendance à ignorer ou à ne pas rechercher des informations contradictoires à la lumière d'une solution générée par l'ordinateur qui est acceptée comme correcte<sup>6</sup> ». Les êtres humains interagissant avec des machines effectuant des tâches automatisées, comme les nouvelles approches d'apprentissage automatique d'aide à la décision clinique, y sont exposés. Les systèmes automatisés actuels vont de ceux qui nécessitent

une implication humaine à ceux où l'automatisation est complète et l'homme non impliqué dans la prise de décision.

L'automatisation complète fonctionne pour les tâches qui ne nécessitent aucune flexibilité dans la prise de décision, ayant une faible probabilité d'échec et un risque faible. En santé, l'automatisation complète est difficile à réaliser et reste rare, le plus fréquemment le système ne fournit au médecin qu'une aide à la décision.

Une confiance excessive en un système automatisé imparfait conduit à deux types d'erreurs spécifiques : erreurs de commission et d'omission.

Les premières se produisent lorsqu'une personne agit par erreur, les secondes lorsqu'une personne n'agit pas alors qu'elle aurait dû le faire. Une étude a examiné ces deux types d'erreurs<sup>7</sup>. Lorsque le système fournissait la bonne recommandation, la prise de décision des participants était plus rapide, plus précise et nécessitait une charge cognitive moindre. En revanche, lorsque le système donnait une recommandation incorrecte (« automatisation erronée »), la performance décisionnelle des participants chutait à un niveau proche de zéro : ils supposaient que le système avait raison et agissaient de manière incorrecte (erreur de commission). Lorsque le système ne donnait pas de recommandation (*automation gone*), les participants étaient davantage susceptibles de commettre une erreur d'omission, et n'agissaient pas alors qu'ils auraient dû le faire.

Les performances d'un système, lorsqu'il est appliqué à une pratique clinique réelle, auront sans aucun doute une précision inférieure à 100 %. Les opérateurs humains devront donc savoir quand faire confiance au système et quand s'en défier. Il est recommandé que les systèmes d'aide à la décision indiquent à l'utilisateur le degré de confiance dans la décision proposée (en particulier s'il est faible).

Certaines inquiétudes ont été exprimées à propos de risque de déqualification des médecins, que l'utilisation massive d'algorithmes pourrait rendre dépendants, entraînant progressivement une perte d'expertise. Il semble cependant que ces craintes soient surestimées<sup>8</sup>.

# Fracture numérique

L'absence de compétences numériques (illectronisme) ou d'accès aux technologies numériques ou à internet est un frein important. Aux États-Unis, par exemple, 16 % des adultes n'ont pas de compétences numériques. Ils sont, en moyenne, moins instruits, plus âgés et plus susceptibles d'être noirs, hispaniques ou nés hors du territoire. Il a été montré qu'un quart des bénéficiaires de Medicare ne disposent pas d'un smartphone ni d'un ordinateur avec accès à l'internet haut débit, technologie essentielle pour une téléconsultation en vidéo. Ces pourcentages étaient plus élevés chez les bénéficiaires à faible revenu, les personnes noires et hispaniques, seules, âgées de plus de 85 ans ou handicapées<sup>9</sup>.

Nous risquons donc, en ce qui concerne la santé numérique, d'être dans un cas très classique d'« *inverse care law* », un principe décrit par Julian Tudor Hart en 1971 et selon lequel « la disponibilité de soins médicaux de qualité est inversement proportionnelle au besoin de la population desservie<sup>10</sup> ». Les patients fragiles ou issus de communautés défavorisées qui sont les plus exposés aux facteurs de risques et les plus touchés par les maladies chroniques ou la multimorbidité sont probablement aussi ceux qui auront le moins accès aux technologies les plus sophistiquées comme les téléconsultations. Selon Hart, ce principe s'applique davantage là où les soins médicaux sont les plus exposés aux forces du marché, ce qui est bien le cas pour les outils et applications numériques en santé. Prendre en compte ce risque dans l'offre de soins et personnaliser les modalités de suivi ou d'interventions en fonction des ressources et des capacités numériques des patients apparaît donc indispensable.

1. Obermeyer *et al.*, 2019, p. 447-453.
2. Adler *et al.*, 2018.
3. Lasko *et al.*, 2017.
4. Babic *et al.*, 2021.
5. Markus *et al.*, 2021 ; Ghassemi *et al.*, 2021.
6. Parasuraman & Riley, 1997.
7. Wickens *et al.*, 2015.
8. Cabitza *et al.*, 2017.
9. Roberts & Mehrotra, 2020 ; National Center for Education Statistics.



10. Hart, 1971.

## CHAPITRE 5

# Quelles précautions pour cette révolution ?

Comme l'a souligné Coiera dans un article sur la réinvention des soins de santé, l'utilité de la technologie est façonnée par la société. Aspects sociaux et techniques sont indissociables et les méthodes de conception et de mise en œuvre des nouveaux systèmes informatiques doivent donc évoluer. Selon lui, « nous ne devrions plus accepter des conceptions qui se limitent aux seuls systèmes technologiques, mais élargir le champ de la conception pour inclure les structures sociales. Tout nouveau service de santé pourrait (et doit probablement) impliquer une innovation dans les rôles cliniques, les processus de travail et un changement de culture, ainsi que de nouvelles technologies puisées dans le coffre aux trésors de la santé en ligne et de la bio-informatique<sup>1</sup> ».

La mise en œuvre de cette révolution technologique sinon culturelle que constitue l'utilisation à large échelle de l'intelligence artificielle ne peut se faire sans respecter les principes humanistes de la relation médecin-soignant, sans comprendre comment êtres humains et machines interagissent et sans avoir conscience des risques et des limites de ces outils. Il sera également impératif de clarifier les conditions d'accès aux données et leurs droits d'usage. Enfin, il est indispensable de repenser le cadre d'évaluation de ces nouvelles technologies.

# Préserver l'humanité des soins

Remplacer complètement un médecin ou un soignant par un robot semble relever davantage du domaine de la science-fiction que d'objectifs souhaitables et réalistes. *A contrario*, imaginer que l'IA pourrait faciliter et améliorer la qualité de certaines tâches cliniques et remplacer l'être humain pour certaines tâches administratives semble à portée de main. Néanmoins, il est indispensable de préserver la relation humaine patient-soignant, qui est l'essence même du soin.

Dans la médecine moderne, les contraintes de temps, les exigences administratives et l'utilisation de la technologie entravent souvent le lien humain qui est au cœur des soins cliniques, contribuant à l'insatisfaction des médecins comme des patients<sup>2</sup>. Les malades ont souvent des temps de contacts limités avec les cliniciens, la durée moyenne d'une consultation médicale variant de onze à dix-sept minutes selon les enquêtes<sup>3</sup>. Durant ce contact clinique, les malades attendent du médecin qu'il soit présent, pleinement concentré, attentif et empathique. Le médecin ou les soignants obnubilés par les données qu'ils doivent saisir, les dossiers médicaux électroniques étant souvent basés sur des cases à cocher et des menus déroulants, peuvent paraître distants. Selon Wachter, les soignants risquent de se concentrer sur une sorte d'avatar dessiné par les données affichées à l'écran au lieu de l'être sur la personne qui leur fait face. Le risque est de perdre les relations interpersonnelles indispensables pour définir les soins les mieux adaptés donnés en fonction de paramètres dont le recueil n'est pas forcément prévu dans un dossier électronique (qu'est ce qui est important pour le patient, quelles sont ses préférences)<sup>4</sup>.

Si le risque de déshumanisation existe, le gain de temps que pourraient apporter ces nouvelles technologies, par exemple en libérant les soignants de certaines tâches administratives, pourrait néanmoins aider à améliorer la relation médecin-malades<sup>5</sup>. Ce temps épargné pourrait permettre aux soignants de se focaliser sur des tâches qui ne peuvent être faites que par eux et de mettre l'accent sur l'entretien du précieux lien interhumain, fondé sur la confiance, l'empathie et la communication. Un clinicien bien informé et empathique, armé de bons outils prédictifs et libérés des corvées administratives pourrait mieux réaliser la maxime de Peabody selon laquelle le secret des soins est de « prendre soin du patient »<sup>6</sup>.

# Les défis de la collaboration humain-machine

Ces défis sont multiples et constituent un enjeu majeur. Il ne faut pas oublier que les machines ne sont pas de nouveaux dieux parfaits et infaillibles<sup>7</sup>. Certains risques classiques, comme le biais d'automatisation déjà évoqué, doivent être pris en compte. Inculquer les valeurs humaines aux algorithmes lors de leur création est indispensable : des experts humains doivent donc être impliqués à toutes les étapes de leur conception. Les médecins doivent apprendre à utiliser ces outils pour l'aide à la décision et non pour la prise de décision. L'objectif est que les soignants soient « augmentés » plutôt qu'amputés de leur cerveau et de leur esprit critique, voire, à terme, remplacés par des robots.

Cette interaction humain-machine doit prendre en compte, au-delà des seuls individus, leur environnement de travail, qui peut imposer des charges inacceptables aux capacités cognitives humaines et potentiellement entraîner une surcharge attentionnelle ou mnésique ainsi que des erreurs<sup>8</sup>. Comme le souligne Coiera, les cliniciens placés dans un environnement où ils sont fréquemment interrompus par des collègues ou des machines sont « programmés » à la faute ou à l'inefficacité. Les concepteurs d'outils numériques, lorsqu'ils travaillent pour des services cliniques où les soignants sont très sollicités, doivent donc tenir compte des limites cognitives de l'être humain et des charges de travail générées par de nombreuses autres activités sur lesquelles ils n'ont aucun contrôle.

## Les problèmes éthiques et les responsabilités

Le partage des données et leur utilisation soulèvent des questions de confidentialité et de respect de la vie privée. L'utilisation des données de santé est très réglementée en France, et plus généralement en Europe. Il est parfois surprenant de voir le décalage entre les craintes affichées sur l'utilisation inappropriée des données de santé et la quantité d'information fournie librement par beaucoup d'entre nous

dans le cadre de notre utilisation quotidienne de multiples outils et plates-formes digitales hors du champ de la santé.

Il semble ici nécessaire de raisonner en termes de rapport bénéfice/risque plutôt qu'uniquement en termes de risque. On oublie trop fréquemment que ne pas donner accès ou ne pas partager ses données peut s'accompagner également d'un risque individuel ou collectif. Dans de nombreuses situations, ne pas avoir accès aux données peut entraîner une perte de chance. L'exemple le plus flagrant est l'absence de partage des données des bases médico-administratives de l'assurance maladie, qui n'ont pendant de longues années pas été accessibles aux chercheurs, les privant d'une source cruciale pour surveiller les effets secondaires des médicaments. Fort heureusement, cette anomalie regrettable a disparue avec la création du Système national des Données de Santé en 2016.

L'utilisation des algorithmes dans le cadre des décisions de santé pose des problèmes complexes de responsabilité, qui dépendent du type d'automatisation. Les algorithmes qui permettent de prendre une décision sans intervention humaine restent rares. La plupart d'entre eux sont des aides à la décision qui *in fine* reste humaine. Un problème important est celui de la responsabilité : qui, du développeur de l'algorithme ou du médecin qui l'utilise, est responsable de la décision prise ? Le cadre juridique de la responsabilité en cas d'erreur survenue lors de l'utilisation d'un algorithme reste à préciser.

Le caractère intrusif possible de certaines interventions est également un sujet sensible mais, comme pour toute autre intervention, il faut agir avec les malades dans le cadre d'une décision partagée. Il est nécessaire d'adapter l'intervention au degré d'intrusion acceptable, très différent d'un individu à l'autre et qui peut varier au cours du temps pour un même individu.

## **Les conditions d'accès aux données et droits d'usage**

Un des freins principaux au développement d'algorithmes reste l'accès à des données de qualité, pour des raisons tant légales

qu'organisationnelles, éthiques, techniques, de propriété et de partage de valeurs. Ces données sont difficiles à obtenir car elles sont sensibles et posent des problèmes de respect de la vie privée. Leur utilisation est strictement réglementée. Il existe un décalage important entre la quantité théorique de données produites par les systèmes de santé, en particulier par les hôpitaux, et les possibilités réelles d'accès à des données de qualité.

Un prérequis à leur utilisation large est la résolution des problèmes posés par leur partage. Le niveau d'acceptabilité du public diffère selon les types de données et d'usage et selon acteurs qui les utiliseront. Il est probable que la plupart des malades préfèrent voir leurs données utilisées par des acteurs publics pour améliorer la qualité des soins plutôt que par les GAFA à des fins commerciales. L'utilisation pour l'intérêt général est une condition essentielle pour que les gens acceptent de partager leurs données de santé.

Il est important de financer les efforts nécessaires et les coûts induits par la production de données de haute qualité. Les données produites dans le cadre des soins sont bien évidemment pour la plupart produites en routine, mais elles ne sont pas censées être utilisées dans un autre cadre, et notamment pas dans un cadre scientifique ou commercial. Même si elles sont produites en routine, leur coût de production et de transformation en jeux de données de haute qualité et réutilisables pour un autre objectif n'est pas négligeable. Il faut pour cela déployer des infrastructures et des processus adaptés : en particulier adapter les systèmes informatiques hospitaliers, créer des entrepôts de données, transformer ces données non structurées (texte libre) en données structurées, et en annoter certaines.

Pour faciliter leur utilisation, il serait probablement plus facile de se concentrer dans un premier temps non pas sur les données déjà recueillies (dont l'intérêt diminue souvent rapidement avec le temps) mais sur celles qui pourraient l'être à l'avenir, en anticipant le recueil des consentements nécessaires de manière systématique pour tous les malades pris en charge à l'hôpital.

Le partage des données et leur transfert en dehors des sites hospitaliers dans lesquels elles ont été produites pose de nombreux problèmes de sécurité et de confidentialité. Pour y répondre, les chercheurs tentent d'améliorer les méthodes d'anonymisation.

D'autres avancées concernent l'apprentissage fédéré (*Federated learning*, FL), un nouveau paradigme d'apprentissage, où les algorithmes sont entraînés de manière collaborative sans qu'il ne soit nécessaire de transférer les données en dehors des institutions qui les ont produites<sup>10</sup>. L'algorithme utilise les données locales de chaque institution participante, et seules ses caractéristiques (paramètres, gradients...) sont transférées. Des recherches récentes ont montré que les algorithmes ainsi entraînés peuvent atteindre des niveaux de performance comparables à ceux entraînés sur des ensembles de données hébergés de manière centralisée, et supérieurs à ceux des modèles qui n'utilisent que des données isolées provenant d'une seule institution.

Enfin, on peut aussi envisager que des tiers de confiance (par exemple des hôpitaux publics) hébergent et gèrent ces données et aient la charge du développement des algorithmes pour le compte de différents acteurs, sans leur donner accès aux données.

## Évaluation

L'évaluation des nouvelles technologies numériques reste imparfaite, en termes de méthodes comme d'exigences réglementaires. Les développements technologiques sont plus rapides que ceux des méthodes d'évaluation, et la complexité des technologies utilisées fait souvent perdre de vue la nécessité de les évaluer. Enfin, leur évaluation différera bien évidemment selon que leur objectif sera diagnostique, pronostique ou thérapeutique.

Il est indispensable de rappeler que, progressivement depuis des dizaines d'années, des cadres méthodologiques ont été construits pour évaluer, valider et autoriser, la mise sur le marché de multiples autres outils et dispositifs dans le domaine de la santé, avec un niveau d'exigence élevé, indispensable dans notre champ d'application. Il est crucial de bien les connaître pour les transposer aux nouveaux outils numériques. Les méthodes usuelles de validation des algorithmes, méthodes « génériques » utilisés dans d'autres domaines d'algorithmique (par exemple les techniques de validation croisée ou la validation externe) restent bien sûr indispensables mais ne sont en

aucun cas suffisantes. Il est impératif de réaliser des études cliniques considérées comme nécessaires pour tout nouvel outil diagnostique, pronostique ou thérapeutique, d'autant plus pour des algorithmes qui doivent être utilisés à large échelle.

Ces outils, comparés aux médicaments classiques et aux autres dispositifs médicaux, ont certaines spécificités. La première concerne le nombre de dispositifs à évaluer. Plus de 450 types d'appareils portables et 145 000 applications de santé mobile étaient sur le marché en 2016. Il n'est pas réaliste d'envisager, pour ces milliers ou dizaines de milliers d'outils digitaux différents produits chaque année, des méthodes strictement identiques à celles utilisées pour les 40 à 50 médicaments mis sur le marché annuellement en Europe<sup>11</sup>. Il est donc nécessaire de repenser ces méthodes, en prenant en compte le nombre d'outils à tester et les moyens disponibles, et d'inventer des formes d'évaluations robustes mais moins complexes et coûteuses que celles utilisées pour le médicament.

La deuxième spécificité de ces outils est leur caractère évolutif (avec par exemple des versions successives d'algorithmes développés avec des bases de données de plus en plus larges) : or, évaluer des outils évolutifs est infiniment plus complexe. La troisième est qu'ils sont des traitements non pharmacologiques et souvent intégrés à des interventions plus complexes, ce qui pose des problèmes méthodologiques différents de ceux soulevés par les médicaments. Enfin, la dernière concerne le nombre de comparateurs éventuels auxquels ils devront être confrontés, qui sera souvent plus important<sup>12</sup>.

Il faut aussi clarifier le niveau d'évaluation réalisé : évaluation de la validité technique des algorithmes ; évaluation de leur impact clinique ou d'interventions les utilisant ; évaluation de leur impact médico-économique ou d'interventions les utilisant ; enfin, évaluation de l'impact d'organisations de soins intégrant de tels algorithmes ou outils numériques.

Les travaux de validation et d'évaluation d'impact réalisés restent souvent trop limités. Ainsi, une revue systématique récente sur l'utilisation de l'apprentissage profond (*deep learning*) en imagerie médicale a montré que la qualité des travaux réalisés était insuffisante. Les auteurs constataient en particulier qu'il existait très peu de comparaisons directes humain *versus* machine (*deep learning*) et



peu de travaux utilisant un même échantillon indépendant pour comparer la performance humaine à celle de l'algorithme<sup>13</sup>. Des efforts considérables sont nécessaires pour développer de nouvelles méthodes tout en s'accordant sur celles qu'il faut utiliser. Il faudra aussi être transparents sur le niveau d'exigence requis pour que ces outils soient mis sur le marché ou remboursés, et accompagner les industriels sur les modalités d'évaluations acceptables lorsque le cadre général prévu est difficilement compatible avec les innovations développées. Comme le soulignent certains, « le guépard de l'innovation en matière d'Intelligence artificielle est poursuivi à un rythme lent par la tortue (l'évaluation médico-économique formelle) » et si la tortue ne rattrape pas son retard, les applications bénéfiques de l'IA risquent de ne pas être adoptées en raison de l'absence de bénéfice avéré pour la santé et de bénéfice économique, et des applications d'IA sans intérêt seront adoptées sur la base d'informations insuffisantes et limitées. Les évaluations médico-économiques de l'IA dans les soins de santé sont rares et se concentrent souvent davantage sur les coûts que sur l'impact sur la santé. Une revue systématique récente montre que près de 50 % d'entre elles concernent le domaine de l'analyse d'images<sup>14</sup>.

1. Coiera, 2004.
2. Zulman, 2020.
3. Doctolib, 2017.
4. Wachter, 2015.
5. The Topol Review, 2019.
6. Verghese, 2017.
7. Siegel, 2019.
8. Parker & Coiera, 2000.
9. Tully *et al.*, 2018 ; MORI, Ipsos 2017.
10. Rieke *et al.*, 2020.
11. Research2Guidance, 2016.
12. Whicher & Rapp, 2022.
13. Liu *et al.*, 2019.
14. Voet *et al.*, 2022.

## CHAPITRE 6

# Freins structurels

**E**n considérant les bénéfices potentiels pour le système dans son ensemble, on pourrait espérer que la transformation numérique s'opère rapidement. Il n'en est pourtant rien. De multiples facteurs expliquent les difficultés des systèmes de soins à se transformer : leur complexité, leur inertie, leur faible capacité d'investissement, les modalités actuelles de financement à l'acte, l'absence de modèle économique clair pour la santé digitale (pour les acteurs hospitaliers comme pour les entreprises) et les modalités incertaines de répartition de la valeur générée à partir des données.

## Complexité et inertie des systèmes hospitaliers

Les systèmes de santé sont des systèmes extrêmement complexes et même, comme le souligne Braithwaite, « aucun autre système n'est plus complexe : ni la banque, ni l'éducation, ni l'industrie manufacturière, ni l'armée ». Selon lui, aucune autre industrie ou secteur n'a une gamme et une ampleur équivalentes de modèles de financement, un tel nombre de parties prenantes aux rôles et intérêts différents, une telle complexité des « clients » (modalités de présentation clinique du patient variables, diversité des besoins, nécessité d'individualisation), autant d'options d'interventions pour les besoins d'un seul individu, et enfin une telle complexité réglementaire<sup>1</sup>.

Dans les hôpitaux, les règles (par exemple les horaires de visites aux malades), les habitudes (par exemple le lavage de mains) et les routines (par exemple les réunions pour prise de décisions collectives pour les malades complexes) sont multiples et indispensables à leur bon fonctionnement. Elles se sont cependant parfois empilées au cours du temps sans être remises en cause, bien qu'elles soient parfois devenues inutiles, gênent le travail des cliniciens, frustrant les malades et leurs familles et gâchent du temps et d'autres ressources. Berwick, de l'Institute For Healthcare Improvement (Cambridge, Massachusetts), rappelle ainsi l'exemple extrême du registre d'un hôpital anglais, dont personne ne parvenait à expliquer l'origine, recensant les personnels arrivant à vélo<sup>2</sup>. Il datait en fait de la Seconde Guerre mondiale et permettait de récompenser les personnels se déplaçant ainsi (et économisant le carburant nécessaire à l'effort de guerre) en leur donnant des tickets alimentaires supplémentaires. Malgré sa totale désuétude, il restait utilisé soixante-quinze ans plus tard. Berwick a interrogé les malades et les personnels de 24 hôpitaux nord-américains à propos des règles qu'ils souhaiteraient supprimer pour améliorer l'expérience de soins pour les patients ou pour le personnel. Plus de 340 règles ont alors été identifiées, dont la majorité correspondait soit à des habitudes ancrées dans les comportements organisationnels ou basées sur des interprétations erronées et ayant peu ou pas de fondement réel dans les exigences légales, réglementaires ou administratives (16 %), soit à des exigences propres à l'organisation que les dirigeants locaux pourraient modifier sans enfreindre une loi ou un règlement officiel (62 %).

Tout changement est difficile pour les organisations de soins de santé où l'adoption de nouvelles pratiques est notoirement lente. Cette inertie du système, c'est-à-dire sa tendance à continuer à faire la même chose, indépendamment des changements de circonstances, peut refléter l'absence de réponse rationnelle et stratégique des organisations à leur environnement ou la préservation latente et institutionnalisée des routines et normes organisationnelles dominantes.

Modifier un système aussi complexe est difficile, et les résistances au changement sont multiples. Tout changement est difficile à obtenir, prend du temps et doit toujours être adapté au contexte. Il est fréquemment rejeté, en particulier lorsqu'il est perçu comme lié à des

injonctions descendantes (*top-down*). La transformation numérique n'échappe pas à ces règles.

## **Une capacité d'investissement limitée des hôpitaux**

La situation économique et financière des hôpitaux publics français est depuis longtemps très dégradée, et la majorité d'entre eux sont structurellement déficitaires. Selon la DREES, 58 % des hôpitaux publics étaient en déficit en 2019 avant la crise du Covid. Leur taux d'endettement, qui mesure la part des dettes au sein des ressources stables (constituées des capitaux propres et des dettes financières), atteignait alors 51,4 %. On observe depuis près de dix ans une diminution continue de l'effort d'investissement, défini comme le ratio des dépenses d'investissement rapportées aux recettes. Il s'établissait à 4,7 % en 2019 contre plus de 10 % en 2009<sup>3</sup>.

Cet endettement structurel et leur capacité d'investissement limitée expliquent probablement en partie pourquoi le tournant numérique n'a pas été pris dans les hôpitaux France. Il est nécessaire d'avoir une politique cohérente sur ce point si l'on veut réellement faire évoluer rapidement et en profondeur notre système hospitalier. Aucun changement technologique et culturel aussi profond, quel que soit le secteur industriel concerné, ne peut se faire sans un investissement technologique et humain massif pour l'accompagner et former les acteurs, et il n'y a pas de raisons objectives pour que le secteur de la santé échappe à cette règle. Appeler au changement sans en fournir les moyens est donc incohérent et ne fait que le retarder ou l'empêcher. Imaginer que des hôpitaux financièrement exsangues et dont le personnel soignant est épuisé pourront réaliser cette révolution sans moyens supplémentaires est illusoire. Cet investissement est indispensable si l'on veut inverser la trajectoire de paupérisation et de désertion progressive de nos hôpitaux initiée depuis une ou deux décennies et leur rendre une certaine attractivité, auprès des malades comme des soignants.

# Des outils technologiques foisonnants

Il existe actuellement un foisonnement d'outils technologiques rendant les choix des décideurs hospitaliers complexes. Il serait bien sûr naïf d'imaginer que chacun de ces outils résoudra un problème ou améliorera la qualité des soins, mais même dans l'hypothèse où ce serait le cas, leur intégration au système d'information hospitalier d'une part et aux modalités de soins d'autre part est complexe. La plupart des acteurs privés proposent des plates-formes correspondant à la gestion d'une pathologie ou d'un groupe de pathologies données (par exemple troubles du rythme cardiaque, insuffisance cardiaque ou diabète). Ces plates-formes indépendantes gèrent, par choix ou par nécessité, l'ensemble de la chaîne (interopérabilité et interfaçage avec les autres systèmes informatiques hospitaliers, collecte et analyse des données, aide à la décision, alertes...).

Intégrer ces nouvelles solutions technologiques dans les hôpitaux, dont l'architecture informatique globale est particulièrement complexe, avec une multiplicité de systèmes, est par nature difficile. Tout hôpital dépend de ses systèmes informatiques, ce qui explique le niveau d'exigence extrêmement élevé concernant leur sécurité, leur continuité et leur confidentialité. Et ces systèmes informatiques sont non seulement complexes, mais en plus différents d'un hôpital à l'autre. Selon l'Atlas des systèmes d'information hospitaliers, 358 sociétés déclarant 1 035 logiciels étaient référencées en 2018 (en hausse de 16 % par rapport à l'année précédente)<sup>4</sup>. Il existe ainsi 13 logiciels de dossier médical patient dans les CHU, dont aucun n'a une part de marché supérieure à 25 %. Cette dispersion est plus marquée encore pour les établissements privés, où l'on trouve plus de 200 logiciels destinés à fiabiliser l'identification du malade à toutes les étapes de sa prise en charge.

Dans les établissements de court séjour, plus de 110 fonctionnalités informatiques (gestion du dossier médical, gestion des mouvements, prescription de médicaments, intégration dans les dossiers d'examens complémentaires, facturation, etc.) doivent être couvertes, et plus de 800 logiciels sont utilisés pour cela, couvrant en moyenne six de ces fonctionnalités. Enfin, la taille des sociétés fournissant ces logiciels est souvent limitée, avec un nombre d'employés médian de 18.

Cela constitue un frein majeur au déploiement de nouvelles

solutions technologiques à l'hôpital. Chaque nouveau déploiement nécessite un travail sur mesure prenant en compte les spécificités de l'architecture informatique locale et l'interfaçage avec des logiciels multiples, ce qui ne peut se faire sans l'implication des services informatiques hospitaliers. Les établissements consacrent en moyenne 1,65 % de leurs charges d'exploitation au système d'information et leurs moyens limités ne leur permettent d'interfacer chaque année qu'un nombre restreint de nouvelles solutions.

Le coût d'entrée dans un hôpital de nouvelles solutions technologiques est élevé, pour l'établissement comme pour les sociétés développant ces solutions. Le coût de formation et mise à niveau de tous les utilisateurs, en particulier des soignants, à tout nouveau logiciel est également élevé. Enfin, l'usage de ces nouveaux outils nécessite le plus souvent de repenser également en profondeur l'organisation des soins et les rôles des différents acteurs.

## Divergence d'intérêts

Il est illusoire d'imaginer un changement profond des comportements des différents acteurs impliqués dans le système de santé sans que tous, payeurs, patients et fournisseurs de soins, n'y aient le même intérêt. Ce n'est malheureusement pas le cas. Ces intérêts divergent largement, en particulier à cause de la tarification à l'acte.

Il est urgent d'engager une réforme structurelle du modèle de financement des soins en France, et en particulier celui des hôpitaux. Il faut cependant reconnaître que si la critique du modèle de financement existant est aisée, proposer un nouveau modèle idéal l'est moins. Néanmoins, il apparaît indispensable de le repenser, en particulier en ce qui concerne le suivi des malades chroniques, et de s'engager dans une transition vers des modèles associant d'autres modes de rémunération complémentaires. Ces changements pourraient intégrer une part de financement correspondant à un paiement unique et complet couvrant tous les services fournis pendant la période de soins d'un patient (*bundled payment*), un paiement à la capitation (*capitated payment*)<sup>5</sup> ou un paiement à la valeur ajoutée (*value-based*).

Dans un modèle où les soins de santé sont basés sur la valeur, les prestataires, hôpitaux et médecins compris, sont payés en fonction des résultats, qui peuvent être mesurés avec des méthodes diverses selon les types de pathologies ou d'actes et, en particulier, avec des évaluations par les patients eux-mêmes.

## Un modèle économique encore incertain

Il est frappant de constater qu'il n'existait pas, jusqu'à une date récente, de modèle économique clair en France dans le domaine de la santé pour la plupart des outils digitaux et/ou utilisant l'intelligence artificielle. Cela explique pourquoi de nombreux acteurs industriels français s'orientent vers le domaine du « bien-être » plutôt que vers celui de la santé (au moins au début de leur activité) ou choisissent d'emblée un développement international vers des pays où un modèle économique plus favorable existe.

Dans certains pays, y compris en Europe, un modèle économique plus clair a été mis en place. Par exemple en Allemagne, l'entrée en vigueur du Digital Healthcare Act en décembre 2019 a marqué l'introduction de l'« application sur prescription » pour les malades. Les 73 millions de personnes couvertes par l'assurance maladie obligatoire allemande peuvent utiliser des applications de santé digitale (Digital Health Application ou DiGA) prescrites par un médecin ou un psychothérapeute et remboursées. Pour qu'une DiGA soit remboursable, elle doit être évaluée avec succès par le Federal Institute for Drugs and Medical Devices (BfArM). Elle est alors inscrite dans un répertoire d'applications remboursables. L'essentiel de cette évaluation repose sur l'examen des déclarations du fabricant concernant les qualités du produit – de la protection des données à la convivialité – et des preuves fournies par le fabricant de l'effet positif de la DiGA<sup>6</sup>.

Aux États-Unis, il existe depuis 2019 des codes d'actes de surveillance physiologique à distance remboursés par Medicare (*remote patient monitoring*), qui correspondent à la collecte et à l'interprétation de données physiologiques par des dispositifs numériques. Très récemment, les Centers for Medicare & Medicaid

Services ont proposé d'y adjoindre une nouvelle catégorie de services de santé numériques, la surveillance thérapeutique à distance (*remote therapeutic monitoring*). Ces services reposent sur la fourniture d'un outil de collecte et de transmission des données et sur un temps minimal de vingt minutes d'interaction avec les malades et permettent d'étendre les options de surveillance à distance en remboursant dès 2022 la collecte et le suivi de données non physiologiques, et en particulier celles rapportées par les patients (niveau de douleur, adhésion au traitement/médication et réponse au traitement/médication).

En France, en octobre 2021, le remboursement des services et outils numériques à visée de télésurveillance, intégrés ou non à un dispositif médical, a été prévu dans le projet de loi de financement de la sécurité sociale<sup>7</sup>, s'ils sont inscrits sur la liste des produits et prestations dénommés « dispositifs médicaux numériques de télésurveillance ». Le cas échéant, les dispositifs médicaux de collecte associés lorsqu'ils ne sont ni implantables, ni invasifs et sans visée thérapeutique, seront également concernés. Ce remboursement s'effectuera « sur une base forfaitaire périodique, le cas échéant modulable en fonction des caractéristiques de la prise en charge » avec un forfait, fixé par arrêté, qui tiendra compte principalement de la fréquence du suivi réalisé par l'organisation de télésurveillance. Il faudra un peu de temps pour évaluer l'impact de cette nouvelle modalité de financement.

Comme pour le médicament, une vision européenne commune des modalités d'évaluation comme de remboursement serait probablement utile pour faciliter le déploiement de ces nouvelles technologies numériques.

## **Statuts des données et modèles de répartition de la valeur**

En France, les données sont légalement considérées comme une extension du corps humain. De même que la loi interdit d'en monnayer certaines parties ou produits (comme les organes ou le sang), les données de santé (qui sont une information sur le corps de



la personne) ne devraient donc pas être commercialisables. Elles ne sont pas une ressource dont les individus sont propriétaires, mais une extension de leur personne, dont ils ont le droit de contrôler l'usage et l'exploitation<sup>8</sup>. Le Code de la santé publique (CSP) précise en effet que « tout acte de cession à titre onéreux de données de santé directement ou indirectement identifiantes, y compris avec l'accord de la personne concernée, est interdit sous peine des sanctions prévues à l'article 226-21 du Code pénal<sup>9</sup> ». Cela n'empêche cependant pas la commercialisation des données dérivées ou des résultats issus de leur traitement, dans la mesure où ils ont été correctement anonymisés. Le Conseil d'État a précisé que « s'il convient de renforcer la dimension de l'individu acteur dans le droit à la protection des données, c'est en envisageant celui-ci comme un droit à l'autodétermination plutôt que comme un droit de propriété ».

Pour certains, la masse de données numériques sur la santé qui s'accumule pourrait être considérée comme un bien public, une nouvelle ressource naturelle créée par des milliers de prestataires de soins anonymes et des millions de patients<sup>10</sup>. Il s'agirait d'une externalité positive qui pourrait profiter à de nombreuses parties, y compris au secteur public et aux entreprises à but lucratif, même si leur potentiel est encore mal connu. Les grandes entreprises technologiques (Google, Apple, Facebook, Microsoft, IBM, etc.) s'intéressent bien sûr à ce marché et accélèrent leurs efforts, créant des coentreprises avec des industriels du médicament et traitant avec des organisations de santé pour obtenir l'accès aux données massives collectées pour le soin<sup>11</sup>. Le transfert très controversé des données personnelles de 1,6 million de malades anglais du National Health Service à Google DeepMind en est un exemple<sup>12</sup>.

Pour d'autres, leur valeur devrait revenir à certains acteurs (ceux qui les produisent, y compris les malades eux-mêmes) ou être répartie entre eux. Une entreprise française, Emblemia, propose ainsi aux malades de recueillir leurs données puis de les mettre à disposition des chercheurs contre rémunération. Une autre *start-up*, Hu-manity.co<sup>13</sup>, a proposé d'ajouter à la liste des 30 droits humains fondamentaux reconnus par les Nations unies un 31<sup>e</sup> selon lequel « chacun a le droit de revendiquer la propriété légale de ses données humaines inhérentes en tant que patrimoine ». Leur objectif est de permettre aux patients, grâce à une application de type blockchain, d'exercer un droit de

propriété et de participer à leur vente, négocier une valeur marchande équitable, les partager.

La valorisation des données hospitalières se heurte à plusieurs difficultés, ce qui explique le décalage entre la promesse théorique et les réalisations pratiques. Certains considèrent même parfois les hôpitaux comme des cimetières de données.

Générer des données et, en particulier remplir des dossiers de santé électronique, a un coût humain considérable. Il est évident que l'introduction massive d'outils informatiques et de dossiers de santé électronique a entraîné le transfert de nombreuses tâches de bureau aux cliniciens (comme le codage) ainsi que la création de nouvelles tâches à effectuer par eux et les soignants (saisie de données, prescription électronique, etc.). Ces tâches répétées plusieurs fois par jour et ajoutées aux multiples autres qui leur sont confiées ont considérablement augmenté leur charge de travail et participent à leur stress et parfois à leur épuisement professionnel<sup>14</sup>.

Les systèmes d'information hospitaliers n'ont souvent pas été pensés pour que les données collectées soient réutilisées pour d'autres objectifs que le soin. Les conditions réglementaires d'accès (absence de consentement recueilli pour d'autres usages) et l'absence de structuration constituent des freins importants à leur réutilisation.

Par ailleurs, les moyens dédiés à la structuration des entrepôts de données hospitaliers sont souvent limités au regard des enjeux, et les capacités d'investissement très limitées des hôpitaux publics n'aident pas. Enfin, les hôpitaux publics, contraints par des grilles salariales peu attractives pour certains métiers à demande forte, ont une incapacité structurelle à recruter en nombre suffisant les personnels nécessaires pour valoriser eux-mêmes ces données.

Les données hospitalières étant très sensibles et leur utilisation strictement réglementée, il est difficile pour les acteurs extérieurs d'y avoir accès. Il est enfin extrêmement complexe de préserver leur confidentialité, même en cas d'anonymisation, en particulier pour les maladies rares.

1. Braithwaite, 2018.

2. Berwick *et al.*, 2017.

3. Marc *et al.*, 2020.
4. Atlas des systèmes information hospitaliers, 2020.
5. Bindman *et al.*, 2018.
6. The Fast-Track Process for Digital Health Applications DiGA according to Section 139e SGB ; A Guide for Manufacturers, Service Providers and Users 2020.
7. Projet de loi de financement de la sécurité sociale, 2022, art. 26.
8. Bourcier & de Filippi, 2018.
9. Art. L. 1111-8 et art. L 4113-7 du Code de la santé publique.
10. Blumenthal, 2017.
11. Wilbanks & Topol Nature, 2016 ; Smalley, 2016.
12. Powles *J Health Technol* 2017.
13. <https://hu-manity.co/>
14. Kroth *et al.*, 2019.

## CHAPITRE 7

# La crise du Covid, un puissant agent accélérateur

La crise du Covid a été dans de nombreux pays un accélérateur majeur de la transition numérique et de l'utilisation de l'IA. Ce qui semblait impossible avant la crise a non seulement été mis en place en urgence mais aussi testé à grande échelle. Cela a concerné autant les malades chroniques qui ne pouvaient plus être suivis et traités dans leur cadre habituel pendant les périodes de confinement que les malades atteints de Covid dont l'afflux massif posait des problèmes spécifiques. Administratifs et soignants ont été contraints, en quelques semaines, de revoir les schémas organisationnels préétablis et de s'adapter à une situation très éloignée des crises habituelles auxquelles ils sont confrontés.

Rapidement, des plates-formes permettant de suivre à distance les malades suspects de Covid ou atteints d'un Covid non compliqué ont été mises en place. Cela avait le double avantage d'éviter l'engorgement des hôpitaux pour des malades qu'il n'y avait pas ou peu de bénéfice à hospitaliser (pour la majorité, les seuls traitements nécessaires étaient des traitements symptomatiques simples), mais aussi de leur éviter le risque de contaminer d'autres personnes en venant aux urgences ou de se contaminer eux-mêmes si leurs symptômes n'étaient en fait pas liés au Covid. Ces plates-formes, conçues à partir de rien en quelques jours ou en détournant l'usage d'une plate-forme existante, étaient basées sur un suivi à distance à l'aide de questionnaires en lignes administrés quotidiennement, de la

génération d'alertes en fonction des réponses et de contacts téléphoniques par des soignants si nécessaire, permettant de décider si un malade avait ou non besoin d'être hospitalisé. Des millions de malades ont pu ainsi être suivis et éviter l'hospitalisation, en ayant le sentiment rassurant d'un lien permanent avec une équipe de soins toujours disponible.

Progressivement, de nouveaux outils de suivi ont parfois pu être ajoutés pour améliorer la capacité de prédiction (oxymétrie de pouls mesurant la  $SpO_2$  – saturation pulsée en oxygène). Certains malades nécessitant une oxygénothérapie ont également pu être pris en charge et suivis à domicile.

Partout dans le monde, ce qui était difficile voire impossible avant le confinement (suivi et prises de décisions à distance) est devenu possible par nécessité et en quelques jours, il a été possible de réorganiser complètement les soins des malades chroniques. L'adhésion des patients et des soignants a été massive. Ce suivi a bien sûr utilisé des nouveaux moyens technologiques, téléconsultations en particulier, et, dans certains sites, plus de 75 % des consultations ont été réalisées à distance et en vidéo<sup>1</sup>. Certains ont aussi redécouvert les vertus du téléphone et ont passé des appels audio à l'ancienne (« *old-fashioned audio-only calls* »)<sup>2</sup>. Dans certains sites aux États-Unis, même après le début des visites vidéo et des téléconsultations, les conversations téléphoniques constituaient encore la plupart des visites virtuelles, en particulier pour les personnes les plus fragiles et celles qui rencontraient des difficultés avec les nouvelles technologies. En France, le nombre de téléconsultations remboursées a été multiplié par plus de 100 entre février 2020 (40 000 téléconsultations remboursées) et avril 2020 (4,5 millions de téléconsultations remboursées). Au total, plus de 20 millions de téléconsultations ont été effectuées en 2020.

La crise a été l'occasion de nouvelles relations entre les acteurs, de nombreuses barrières se sont au moins temporairement effondrées et les enjeux de pouvoir sont passés au second plan. Tout était redevenu possible<sup>3</sup>. Les blocages existant depuis des années avaient disparu. La performance du système de soins ne se résumait plus à une production efficiente – et non coordonnée – de soins et d'actes techniques. Les acteurs ont réussi à montrer leur capacité à se coordonner, à décloisonner le système et à inventer ensemble de nouveaux schémas

d'organisation<sup>4</sup>. Pour certains d'entre eux, remodeler la médecine à l'issue de la pandémie grâce à un mélange d'approches – consultations en face à face, plates-formes de télésanté de pointe, applications vidéo conviviales et appels téléphoniques – pourrait se profiler<sup>5</sup>. La pandémie a permis de mettre à l'épreuve à grande échelle de nouveaux concepts et modalités d'organisations, alors que beaucoup doutaient de leur efficacité et de leur capacité à maintenir notre système dans cette situation de crise extrême<sup>6</sup>. Comme le souligne J. E. Hollander, les responsables politiques et les dirigeants impliqués tant dans la délivrance de soins que dans leur financement s'évertuaient, avant la pandémie, à réimaginer les soins de santé mais le changement était lent à venir car les incitations économiques n'étaient pas à la hauteur<sup>7</sup>.

1. Artandi *et al.*, 2020.

2. Jaklevic, 2020.

3. Bergeron, 2020.

4. Aubert *et al.*, 2021.

5. Jaklevic, 2020.

6. Aubert *et al.*, 2021.

7. Hollander, 2020.

## CHAPITRE 8

# Les conditions pratiques

La mise en œuvre à grande échelle de la médecine numérique nécessite un accord sur les objectifs, les principes et les investissements nécessaires, et une anticipation des obstacles et blocages qui ne manqueront pas et doivent être anticipés ainsi que sur les conditions matérielles, en particulier les investissements nécessaires. Il est également important de repenser le rôle des différents acteurs du système. Il faut, pour préparer organisations et soignants à cette révolution, repenser la formation initiale et continue, réaliser un effort massif de formation et probablement inventer de nouveaux métiers. Préparer ces nouvelles organisations, c'est aussi les reconnaître et les financer non pas comme une activité accessoire mais comme une activité indispensable aux soins du futur. Enfin, il faudra favoriser le développement d'innovations issues des personnels hospitaliers eux-mêmes.

## **S'accorder sur les objectifs et anticiper les obstacles**

Une évolution aussi profonde de nos pratiques et de nos organisations de soins ne peut être mise en œuvre sans un consensus large sur les objectifs à atteindre et les moyens nécessaires pour y parvenir.

Toute innovation en santé n'a de sens que si elle bénéficie au

patient. La mise en œuvre de la santé numérique ne doit pas déroger à cette règle. La transformation numérique et les interactions personne-machine doivent être façonnées par la pratique clinique afin de préserver les valeurs fondamentales de la relation patient-soignant. Il est nécessaire de veiller à préserver les dimensions relationnelles des soins et les capacités d'écoute, de présence, d'empathie, de soutien des soignants et l'attention portée aux valeurs, émotions et histoires individuelles des malades.

La technologie n'est jamais une fin en soi, elle doit rester un moyen. Elle compte moins que l'usage qui en est fait. Si l'on prend en compte la finalité (par exemple améliorer la continuité du lien patient-soignant), les outils technologiques (par exemple la téléconsultation) ne constituent qu'un des moyens possibles (e-mail ou téléphone peuvent aussi être des solutions, moins technologiques mais tout aussi efficaces).

L'enjeu majeur n'est pas donc le seul développement technologique mais l'intégration de ces technologies et l'aide qu'elles pourront apporter aux malades, aux soignants et plus globalement à toutes nos organisations de soins. Comme souvent avec le développement technologique, l'accent est davantage mis sur le côté technique que sur les modifications de culture, compétences et comportements, ce qui est regrettable.

L'objectif est de réduire et non d'augmenter le fardeau du traitement pour les malades. Si la transformation digitale peut améliorer leur vie (avec par exemple une réduction du nombre de visites et donc des temps de transport), elle peut également augmenter leur fardeau, en particulier en opérant un transfert de tâches massifs des soignants vers le malade ou ses proches<sup>1</sup>.

Identifier les obstacles et blocages organisationnels, professionnels, institutionnels et culturels est indispensable. Cette remise en cause profonde de nos pratiques nécessite d'identifier les obstacles ainsi que les facteurs qui facilitent la mise en œuvre réussie de la médecine numérique dans les pratiques de soins<sup>2</sup>. Si ces obstacles ou verrous ne sont pas levés, il est illusoire d'imaginer un déploiement rapide des nouvelles technologies numériques. Les identifier nécessite des travaux scientifiques, en particulier en sociologie des organisations, pour mieux comprendre comment ces nouveaux outils pourront s'intégrer aux organisations existantes et comment les malades et les



personnels vont vivre les nouvelles organisations qui émergeront.

Pour cela il faut comprendre et évaluer les processus et les étapes clés nécessaires à la mise à l'échelle des innovations en matière de médecine numérique, en tenant compte de la nature polycentrique et dynamique de la gestion des soins chroniques mais aussi conceptualiser de nouvelles organisations de soins de santé et de nouveaux systèmes d'information adaptés. Il faut en particulier se demander comment éviter la fragmentation de l'information numérique ou rationaliser les systèmes automatisés pour présenter les données aux soignants tout en évitant la fatigue des alertes<sup>3</sup>. Un nombre excessif de ces alertes risque d'entraîner une lassitude ou une accoutumance du médecin ou du patient, les poussant à y accorder moins d'attention voire à les ignorer, ce qui limite l'efficacité des systèmes et peut poser des problèmes de responsabilité. Il semble impossible que le médecin traitant, quel que soit son engagement vis-à-vis des malades, puisse recevoir et gérer des alertes vingt-quatre heures sur vingt-quatre et sept jours sur sept. Il est donc impératif d'anticiper et de construire des structures fonctionnant en continu capables de prendre en charge ce flux d'informations en assurant ainsi la continuité des soins.

Ces développements technologiques et l'adaptation des organisations de soins au flux prévisible de données demandent du réalisme. Selon l'approche dominante, les technologies de suivi à distance ont pour objectif de transmettre plus d'informations et plus rapidement du patient au médecin, en espérant que ce dernier les prendra en compte. Ce mode de pensée suppose que l'implication directe des médecins comme récepteur de ces données est immuable<sup>4</sup>. Or, si le médecin est le bon récepteur de l'information quand elle lui est fournie mensuellement ou trimestriellement lors d'une consultation, il lui est impossible de l'être pour des données produites quotidiennement<sup>5</sup>. Il est donc indispensable d'inventer de nouvelles organisations de soins compatibles avec cet afflux de données et de développer des méthodes de transmission, présentation et analyse de ces données facilitant le travail de tous les intervenants. La simplification de la transmission n'est pas un but en soi, l'enjeu majeur est d'assurer une transmission la plus appropriée pour que ces informations soient effectivement utilisées. Il faut répondre au nouveau défi que constitue leur synthèse, pour augmenter l'efficacité

des médecins plutôt que de les submerger.

Des outils devront donc permettre d'automatiser en partie l'interprétation continue des données avec des systèmes d'aide ou d'alertes. La nouvelle organisation pourrait impliquer d'abord une interprétation par le patient lui-même (comme c'est souvent déjà le cas dans certaines pathologies comme le diabète, par exemple), puis probablement par des techniciens et des auxiliaires médicaux, et seulement dans de rares cas par le médecin<sup>6</sup>. C'est ce qui a été décrit comme les « nouveaux soins tertiaires » tant pour les médecins hospitaliers que pour des médecins de ville.

Il est évidemment inenvisageable d'effectuer une telle transformation numérique sans un investissement initial massif, avec la mise en place des plates-formes technologiques nécessaires et la mise à niveau des équipements informatiques existants, mais surtout l'investissement en ressources humaines (formation des acteurs existants, recrutements pour de nouveaux métiers) et en prestations de conseil et d'accompagnement du changement.

Comme toujours, le retour sur investissement ne pourra pas être immédiat. Il faut donc aider cette transformation numérique complexe sans en attendre de bénéfices à court terme. Si le retour sur investissement global ne fait aucun doute, une difficulté supplémentaire vient du fait que de nombreux bénéfices liés ne contribueront pas à l'équilibre financier de l'hôpital. Ainsi, par exemple, la réduction du coût des transports et les actions de prévention bénéficieront à l'assurance maladie, les améliorations de qualité des soins, aux malades, mais cela ne changera en rien l'équilibre financier de l'hôpital.

## **S'accorder sur la répartition des rôles**

Il est impératif de s'accorder sur la répartition des rôles entre les différents acteurs et les différentes structures, et sur celui de chacun dans la continuité des soins, ce qui n'est pas toujours le cas actuellement.

Il existe bien évidemment une tension entre la médecine spécialisée, voire hyperspécialisée, et la médecine générale, entre

compétences techniques et vision plus holistique. Nul ne conteste que le médecin généraliste soit le mieux placé pour apporter une vision holistique du malade et adapter sa prise en charge, en tenant compte de ses différentes pathologies, mais aussi de son contexte familial, social, professionnel, pour lui prodiguer des conseils de prévention, pour être en première ligne en cas de problème aigu.

Les malades apprécient cette proximité de leur médecin généraliste, mais veulent également avoir accès aux compétences particulières d'un médecin spécialiste, voire d'un médecin hospitalier hyperspécialisé. C'est vrai pour les malades atteints de maladies rares, sévères ou, plus largement, chroniques. Tout patient apprenant qu'il est atteint d'une maladie chronique nécessitant un traitement, et parfois une surveillance, pour le reste de sa vie, désire naturellement être certain du diagnostic, et parfaitement informé et convaincu du traitement qui va lui être prescrit. Une des premières propositions faites par des malades à qui l'on demande des suggestions pour améliorer leur parcours est de disposer d'annuaires permettant de savoir quel médecin est spécialisé dans quelle maladie. La spécialité d'organe (par exemple, la rhumatologie) ne leur suffit pas toujours, ils souhaitent un expert de leur maladie (par exemple, de la polyarthrite rhumatoïde) connaissant parfaitement les avancées les plus récentes de la science. Le médecin généraliste aura nécessairement de plus en plus souvent un rôle majeur dans l'orientation du malade dans le système de soins.

## **Préparer les organisations et les soignants à cette révolution**

Cette révolution aura nécessairement un impact considérable sur l'organisation des soins, la conception des hôpitaux, les métiers des soignants (apparition de nouveaux métiers, disparition d'autres, transfert de tâches). Il va donc falloir repenser les rôles (médecins hospitaliers, personnel soignant, médecins de villes), les relations et interactions (flux d'informations) entre les différents prestataires (infirmières ambulatoires et hospitalières, médecins ou thérapeutes) et les différentes structures (cliniques, hôpitaux, agences sanitaires, etc.)

ainsi que leurs responsabilités respectives.

Pour emporter l'adhésion de tous les acteurs, et en particulier des décideurs, les professionnels de santé et les patients devront être convaincus que ces innovations apporteront des solutions à leurs problèmes quotidiens. Il apparaît crucial d'éduquer les futurs soignants et de former massivement ceux actuellement en poste. La santé numérique et l'intelligence artificielle doivent être enseignées en formation initiale et en formation continue<sup>7</sup>. Permettre à l'ensemble des soignants d'atteindre un niveau de compétence numérique approprié à leurs fonctions et responsabilités constitue un enjeu majeur pour les prochaines années, car la quasi-totalité du personnel de santé aura besoin de ces compétences d'ici à 2030<sup>8</sup>. Les programmes ne devront pas se concentrer sur les seules compétences liées au fonctionnement des outils numériques, mais inclure celles comme l'évaluation critique de l'information ou l'éthique de la santé numérique et de l'intelligence artificielle<sup>9</sup>. L'objectif n'étant pas ici seulement l'acquisition de connaissances, mais bien de compétences.

Une des difficultés, selon Eric Topol, un chercheur américain qui a dirigé la commission visant à préparer le personnel de santé du National Health Service (NHS) à l'avenir numérique, est que « nous devons préparer les étudiants pour des emplois qui n'ont pas encore été créés, des technologies qui n'ont pas encore été inventées et des problèmes dont nous ne savons pas encore qu'ils se poseront ».

La médecine numérique va transformer la profession médicale, le rôle des cliniciens, le processus de soins et les interactions avec les patients. Il est donc essentiel de réorganiser en profondeur le programme des facultés de médecine, des écoles d'infirmières et de toutes les autres professions paramédicales pour les préparer.

Au-delà des compétences numériques, il faudra aussi revoir en profondeur les programmes pour former les étudiants à ces nouvelles interactions et aux implications pour leur manière d'exercer. Les futurs cliniciens doivent non seulement apprendre à prescrire des applications validées et des produits digitaux, à informer leurs patients et à interpréter les données mais aussi à appréhender les problèmes éthiques posés et à gérer les biais éventuels induits par ces outils.

Plutôt que d'aborder la médecine numérique lors d'un cours autonome, ce qui n'est pas propice à l'instauration d'une culture numérique ou à la perception de la technologie numérique comme

partie intégrante des soins, il semble préférable de l'intégrer largement, comme le recommande l'OCDE dans son rapport récent « Empowering the health Workforce »<sup>10</sup>. On peut imaginer en particulier l'intégrer dans tous les cours actuels, quand cela est pertinent, par exemple dans ceux de sémiologie, d'éthique, de psychologie médicale, d'apprentissage de l'exercice médical, de communication médicale, ceux abordant la relation patient-soignant et la décision partagée ainsi que dans ceux abordant les différentes pathologies.

Comme le souligne Topol à propos du NHS, il est aussi important de développer la culture numérique des personnels de santé déjà en poste que de former les étudiants. Au NHS, plus de 50 % des personnels seront encore en activité dans quinze ans, et la plupart sont autodidactes en termes de technologies numériques. Le défi est donc considérable, si l'on considère le nombre d'acteurs à former ainsi que l'écart entre le niveau actuel d'un grand nombre d'entre eux et le niveau à atteindre.

Une autre difficulté est de préparer les soignants à des innovations déjà existantes mais aussi à d'autres, et à des modalités d'organisations, encore à venir. Le monde de la santé a toujours été soumis à de régulières innovations technologiques ou organisationnelles, mais la révolution numérique s'accompagne d'un rythme d'innovation plus soutenu (cycles d'innovation raccourcis), d'un impact organisationnel plus fort et d'une remise en cause plus profonde. Il faut donc, plus que jamais, repenser la formation continue. Au-delà des contenus, des innovations dans les modalités et formats de ces formations seront nécessaires.

La collaboration homme-machine permettra également d'innover dans le domaine de l'organisation des soins et de réaliser des transferts de tâches entre médecins et soignants augmentés. Par exemple, Goldstein pense que cette collaboration homme-machine permettrait à des infirmières praticiennes ou à des assistants médicaux de dispenser davantage de soins en oncologie<sup>11</sup>, en appliquant des algorithmes et traitant ainsi un large échantillon de patients avec des plans de soins préétablis, pour des salaires moindres que ceux des oncologues, et une capacité à délivrer des soins équivalente (ce qui a déjà été démontré

dans d'autres domaines). Il considère que cela pourrait être une réponse au manque de médecins et que cela permettrait d'accroître la disponibilité de ces derniers pour la prise en charge des cas les plus complexes.

Rien ne pourra se faire sans que ces nouvelles modalités de suivi des malades ne soient anticipées, discutées, encadrées, reconnues et intégrées aux organisations existantes. Il est inenvisageable que toutes ces activités nouvelles, en particulier les nouvelles modalités de suivi, soient réalisées sans reconnaissance de leur coût humain, comme c'est malheureusement le cas aujourd'hui. Non seulement ces activités doivent être financées, mais elles doivent l'être de manière suffisamment attractive pour inciter à un changement d'organisation qui sera nécessairement complexe et difficile à mettre en œuvre. Par ailleurs lors de leur période initiale de déploiement, il est probable qu'elles augmenteront le coût des soins en raison de la coexistence de l'ancien et du nouveau système mais aussi car les bénéfices de certaines nouvelles activités de prévention ne seront observés qu'à long terme.

Dans certains domaines comme l'imagerie ou l'anatomopathologie, l'utilisation de l'IA peut avoir un impact considérable et nécessite de repenser le rôle et le nombre des radiologues et des anatomopathologistes, mais aussi plus largement l'organisation de ces spécialités à l'échelon régional ou national.

De nouveaux métiers seront également nécessaires pour relever les principaux défis de la transformation numérique.

On manque en particulier cruellement d'informaticiens, de spécialistes en intelligence artificielle, en sciences des données, en outils digitaux et en gamification (c'est-à-dire l'utilisation des mécanismes du jeu dans des domaines autres) ayant une bonne connaissance du domaine de la santé. Il est nécessaire de créer des doubles cursus ou des enseignements hybrides pour renforcer les compréhensions respectives des différentes disciplines en jeu. On pourrait ainsi inclure dans la formation des ingénieurs une acculturation à la santé et aux modalités d'organisation des soins ou former certains médecins dans les domaines de la médecine numérique et de l'IA, en créant par exemple des programmes intégrés MD-PhD.

Comme le souligne le rapport de l'OCDE<sup>12</sup>, des programmes au niveau exécutif (*executive master*) et postuniversitaire pourraient aussi être développés pour attirer des soignants désirant se former à la gestion du changement. Former des infirmiers, cadres infirmiers ou médecins, ayant une expertise clinique forte et une connaissance approfondie du terrain, aux techniques d'accompagnement du changement permettrait d'éviter de plaquer dans le domaine de la santé des méthodes développées initialement dans d'autres domaines industriels et difficilement transposables en raison de leurs spécificités. Il permettrait également des évolutions de carrière indispensables pour les métiers infirmiers.

Les directeurs d'hôpitaux doivent eux aussi se former à ces nouvelles technologies et renforcer leur culture dans les domaines de l'intelligence artificielle ou du numérique afin de pouvoir accompagner cette transition, dans l'organisation des soins mais aussi dans tous les autres domaines administratifs qui pourraient en bénéficier, comme la facturation, la gestion des approvisionnements, etc. Ils pourront ainsi mieux comprendre les enjeux et anticiper les adaptations nécessaires (humaines, organisationnelles, architecturales) et se former à la mise en œuvre des partenariats public-privé indispensables.

## **Tirer profit de la capacité d'innovation des personnels**

Les soignants et personnels médicaux exerçant dans le public ou le privé, en ville ou à l'hôpital ainsi que les malades ou leurs associations représentent une ressource considérable en termes de capacité d'innovation pour notre système de santé. Ils sont parfaitement légitimes pour identifier des problèmes existants et proposer des solutions innovantes pour tenter de les résoudre. L'innovation dirigée par l'utilisateur est pertinente dans le domaine des soins de santé, car les patients et les cliniciens ont une vision précise des problèmes et des besoins<sup>13</sup>. Plusieurs hôpitaux universitaires ont mis en place des centres pour accompagner les soignants dans le développement d'innovation dans le domaine du numérique ou de l'IA, centres qui

pourraient parfaitement être ouverts à tous les acteurs au niveau d'un territoire. Il faut souligner que les innovations ne se résument pas aux seules innovations technologiques mais peuvent prendre la forme de nouvelles descriptions de métiers, de nouvelles méthodes de soins ou de meilleurs processus et approches utilisant le numérique ou l'IA.

Au Royaume-Uni, le National Health Service (NHS) a élaboré un programme de formation intitulé « Clinical Entrepreneur Programme », qui vise à offrir aux médecins en formation et aux autres professionnels du NHS (soignants ou non) la possibilité de développer leurs aspirations entrepreneuriales au cours de leur formation clinique. Depuis son lancement en 2016, plus de 500 personnes, dont des médecins, dentistes, scientifiques de la santé, infirmières et sages-femmes, professionnels paramédicaux et pharmaciens, ont intégré ce programme. Il offre un mentorat d'experts, une mise en réseau et une formation sur mesure pour développer des idées innovantes en produits et entreprises au profit des patients du NHS. Tous les aspects de la création et de la gestion d'une *start-up*, y compris l'attraction d'investisseurs, la demande de financement et la garantie d'une gouvernance d'entreprise appropriée y sont abordés. Le programme permet aux entrepreneurs de poursuivre leur innovation sans avoir à quitter le service de santé, ce qui profite largement, selon le NHS, à la croissance économique du Royaume-Uni.

Ces centres pourraient, au-delà du seul développement d'innovations, devenir des lieux d'appropriation de ces technologies et d'intégration pratique de celles-ci dans l'organisation des soins.

1. Mair *et al.*, 2021.
2. Reis *et al.*, 2016.
3. Kesselheim *et al.*, 2011.
4. Terwiesch *et al.*, 2017.
5. *Ibid.*
6. *Ibid.*
7. Socha-Dietrich, 2021.
8. The Topol reviews, 2019.
9. Socha-Dietrich, 2021.
10. *Ibid.*
11. Goldstein *et al.*, 2017.



12. Socha-Dietrich, 2021.
13. Zuckerman *et al.*, 2013.

## CHAPITRE 9

# Réinventer le rôle des hôpitaux universitaires

Avec leur mission traditionnelle tripartite d'enseignement, de recherche et d'excellence en matière de soins cliniques, l'intérêt des centres hospitalo-universitaires (CHU) dans les systèmes de santé moderne, en France comme ailleurs, est rarement remis en question. Cependant, l'urgence de restructurer l'ensemble du secteur afin d'en contrôler les coûts et d'en maintenir la qualité est un sujet récurrent de débat. Les CHU sont rarement l'option la moins coûteuse en raison de la diversité des cas complexes qui y sont pris en charge, empêchant la mise en œuvre d'approches industrielles ciblées sur certains types de malades ou certains types d'actes très répétitifs<sup>1</sup>. Réinventer le rôle des hôpitaux universitaires et l'adapter aussi bien aux évolutions technologiques et scientifiques qu'aux attentes sociétales est un enjeu important. Il ne s'agit pas de remettre en cause les activités classiques au cœur des CHU, en particulier leur rôle de plateau technique et de centre d'expertise, mais d'adapter certaines de leurs activités et d'en créer de nouvelles. Certaines de ces activités constituent simplement une adaptation de l'hôpital aux nouvelles attentes des malades en termes de modalités de délivrance des soins, d'autres représentent de nouveaux champs d'activité par exemple dans le domaine de la prévention. Ainsi, créer des plates-formes permettant le suivi à distance des malades et d'autres permettant la mise en œuvre d'interventions digitales pour modifier certains comportements serait une avancée décisive et pourrait avoir un effet important sur la santé publique. Cela permettrait aussi de diversifier les sources de

## **Développer des plates-formes régionales de suivi à distance**

Organiser le suivi à distance des malades, voilà qui pourrait être une avancée considérable. Pour cela, il faudrait créer au sein de chaque centre hospitalier régional (CHR) ou CHU, une plate-forme technologique mise en œuvre par des équipes, médicales et paramédicales.

Les médecins pourraient alors prescrire à chaque malade qui en aurait besoin la série d'outils digitaux (applications, capteurs, objets connectés), mais aussi utiliser d'autres outils (e-mails, SMS, téléphone) pour son suivi à distance. Le choix des outils utilisés serait effectué en accord avec le patient, en fonction de ses caractéristiques personnelles, de sa ou ses pathologies, de son niveau de compétences numériques comme d'équipement et de ses attentes. Ces plates-formes permettraient, pour chaque malade donné, de récupérer les données ainsi produites et de les interfacer avec celles déjà existantes (issues des entrepôts hospitaliers et du dossier médical partagé).

Elles pourraient également mettre à disposition ces informations sous une forme synthétique utilisable par les équipes soignantes. Ces plates-formes devront permettre de distinguer, à partir du flux de données transmises, les situations nécessitant une prise de décision rapide (par exemple modifications de suivi, intensification de la fréquence de réponse à des questionnaires, modification des dates de consultation, proposition de consultation en urgence chez un généraliste, un spécialiste de ville ou hospitalier, proposition d'hospitalisation, modifications de traitement, etc.). L'organisation mise en place devrait être en mesure de répondre en permanence aux alertes générées par le système nécessitant une décision rapide.

Enfin, cela permettrait d'informer tous les acteurs du suivi de chacun de ces malades (intra- ou extrahospitaliers), ce qui serait utile notamment pour les suivis des patients atteints de maladies rares, de maladies chroniques complexes ou sévères et en particulier de multimorbidité, mais aussi des malades précaires, de ceux nécessitant

une surveillance plus étroite après leur sortie de l'hôpital (après un séjour aux urgences, une chirurgie ambulatoire, ou réanimation), de ceux pris en charge en hospitalisation à domicile, ou des femmes enceintes nécessitant une surveillance.

Ces plates-formes pourraient être conçues, construites et mise en œuvre dans le cadre de partenariats public-privés. Ainsi le projet @HotelDieu, récemment financé par la Banque publique d'investissement et qui regroupe cinq sociétés privées (Lifen, Nouveal, Withings, Implicit, Nabla), l'Assistance Publique-Hôpitaux de Paris et l'Université Paris Cité est un exemple novateur. Ce consortium a pour idée-force d'expérimenter une nouvelle manière d'intégrer les solutions technologiques à l'hôpital et de lever les verrous existants. L'objectif est de mettre en œuvre une plate-forme technologique permettant de mutualiser certaines fonctions afin d'éviter aux industriels et aux hôpitaux les redondances technologiques et de faciliter l'usage par les malades et les soignants (en évitant la multiplication d'outils). Une telle plate-forme serait conçue de manière modulaire avec des modules horizontaux correspondants à des besoins communs à l'ensemble des applications (par exemple l'interfaçage avec les systèmes informatiques hospitaliers ou la gestion des interfaces de suivi des malades ou des alertes) et des modules verticaux spécifiques d'une pathologie, d'un groupe de pathologies ou d'un groupe de population (par exemple pour le suivi des malades de cardiologie et l'adaptation de leur traitement). L'objectif est de faciliter l'implantation et d'accélérer le déploiement d'applications multiples, de réduire les verrous technologiques pour les *start-ups* comme la charge de travail pour les directions des services informatiques des hôpitaux et de simplifier le travail des soignants en limitant le nombre d'interfaces. De telles plates-formes auraient l'avantage de permettre à ces *start-ups* de se recentrer sur leur cœur de métier plutôt que chacune d'entre elles ne dépense une énergie considérable à lever des verrous technologiques identiques.

## **Développer des plates-formes régionales d'interventions numériques**

Développer et mettre en œuvre, à large échelle, des interventions de promotion des comportements favorables est un enjeu majeur. Certaines interventions classiques ont démontré leur efficacité, mais elles sont coûteuses en ressources et en personnel, ce qui limite leur portée, leur extensibilité et leur durée<sup>2</sup>. Quand cette dernière est réduite, ce qui est souvent le cas, cela a un impact négatif sur la capacité à maintenir le changement de comportement ; mais l'accroître a un coût prohibitif. En outre, les méthodes de financement découragent souvent leur mise en œuvre<sup>3</sup>. La technologie pourrait permettre de transformer les moyens par lesquels ces interventions en sciences sociales et comportementales sont délivrées<sup>4</sup>.

On peut également développer des plates-formes numériques permettant la mise en œuvre à grande échelle de ces programmes d'interventions à distance (*coaching* pour l'activité physique, support nutritionnel, support arrêt du tabac, etc.) ou pour apporter un support psychologique par le biais de smartphones. Elles peuvent être délivrées en continu, tous les jours, à toute heure, et à tous ceux qui en ont besoin. La mise en œuvre opérationnelle de ces interventions sous forme de code informatique garantit la fidélité (ou le degré avec lequel une intervention est mise en œuvre comme ses concepteurs l'ont prévu) et peut permettre d'étendre sa portée à tous, en tout lieu et à tout moment. Il est possible d'en allonger la durée et donc d'améliorer l'impact sur le comportements<sup>5</sup>.

Le développement de telles interventions ne peut être que multidisciplinaire et doit impliquer patients, équipes soignantes, équipes informatiques et experts du développement et de la mise en œuvre (experts en sciences du comportement, psychologues, experts en « *persuasive technology* », épidémiologistes). Elles pourraient être développées en fonction de leurs objectifs (modification de la motivation, de la capacité à effectuer le changement et/ou la suppression d'un « déclencheur de comportement »)<sup>6</sup>. Les méthodes d'intelligence artificielle précédemment décrites permettent de les personnaliser selon les préférences de l'utilisateur, ses objectifs individuels, le degré d'intrusion qui lui semble acceptable et sa réponse à l'intervention.

Des hôpitaux virtuels situés au sein des hôpitaux classiques permettraient, à l'aide des deux plates-formes précédemment décrites, d'assurer le suivi des malades à l'extérieur de l'hôpital et de délivrer

largement ces interventions. Cela pourrait faire l'objet d'un financement à l'acte comme tout autre acte de soins.

## **Faire des hôpitaux des lieux de prévention et de dépistage**

Beaucoup de patients passent à l'hôpital pour le traitement de maladies aiguës ou y sont suivis pour maladies chroniques. Focalisés sur le problème les y ayant conduits, ce passage ne conduit pas systématiquement à une prise en charge globale. Saisir ces opportunités comme autant d'occasions de faire de la prévention devrait être encouragé (et financé). Donner à ces patients des conseils en matière d'hygiène de vie et de vaccination, en identifiant leurs facteurs de risques et en tentant de les réduire, en leur proposant d'intégrer des programmes d'arrêt du tabac, d'augmentation de l'activité physique, d'amélioration de leurs habitudes alimentaires serait très utile.

Par ailleurs, de nombreux examens (biologiques ou radiologiques par exemple) sont réalisés et peuvent être utilisés plus systématiquement dans le cadre d'un dépistage opportuniste pour détecter des pathologies méconnues ou des anomalies prédictives nécessitant une surveillance spécifique.

## **Transformer les hôpitaux en systèmes de santé apprenants**

L'utilisation de l'intelligence artificielle au niveau d'un hôpital ou d'un groupe d'hôpitaux permet la mise en œuvre de systèmes d'apprentissage utilisant les données des patients pour rechercher des possibilités d'améliorations. Ces systèmes de santé apprenants (« *learning health systems* » ou LHS) ont été définis comme des systèmes où « la science, l'informatique, les incitations et la culture sont alignées pour une amélioration et une innovation continue, les

meilleures pratiques étant intégrées de manière transparente dans le processus de prestation et les nouvelles connaissances étant capturées comme un produit dérivé intégral de l'expérience de la prestation<sup>7</sup> ». Selon l'AHRQ<sup>8</sup> (Agency for Health Research and Quality), un système de santé apprenant est un système dans lequel les données et l'expérience internes sont systématiquement intégrées à des preuves externes, et les connaissances mises mises en pratique<sup>9</sup>, l'objectif étant que les patients reçoivent des soins de meilleure qualité. Pour cela, il faut que les leaders hospitaliers s'engagent dans un processus d'amélioration continue, que des données soient recueillies et analysées en temps réel, que les résultats soient évalués en permanence, et qu'il existe des boucles de rétroaction.

Dans une revue systématique, il a été montré que des LHS mis en œuvre sur plusieurs continents peuvent générer une amélioration mesurable des soins de santé<sup>10</sup>.

## **Impliquer les hôpitaux dans la formation continue**

L'hôpital universitaire pourrait avoir également un rôle majeur dans la formation continue et la certification des soignants aux nouveaux usages du digital ou de l'intelligence artificielle en santé. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les besoins dans ce domaine seront immenses dans les années à venir. Impliquer les facultés de médecine dans le développement de cette formation continue semble en parfaite adéquation avec leurs missions. Ces formations pourraient être réalisées aussi bien en présentiel qu'en ligne, en utilisant des méthodes d'efficacité prouvée (case-vignettes, gamification, etc.).

Les acteurs hospitalo-universitaires pourraient aussi également avoir un rôle dans la formation ou l'acculturation des personnels ne venant pas du domaine de la santé (ingénieurs, informaticiens, spécialistes des sciences des données) se reconvertissant vers les nouveaux métiers hospitaliers du numérique et de l'IA.

# Valoriser les données produites

Nos hôpitaux publics produisent, en permanence et presque sans le savoir, des données dont la valorisation devrait être mise à leur portée. Nos groupes hospitaliers publics doivent pouvoir les utiliser pour créer de la valeur et développer des modèles de revenus non conventionnels en complément de leur financement classique.

Ces données ont une valeur considérable car elles peuvent être la base de multiples algorithmes à visée diagnostique, pronostique ou thérapeutique qui ne manqueront pas de modifier notre pratique de la médecine et générer de la propriété intellectuelle. Dans le monde actuel, où les données sont considérées comme un actif majeur par de nombreuses entreprises, c'est un enjeu considérable.

Les hôpitaux publics de grande taille et en particulier les groupes hospitaliers comme l'Assistance Publique-Hôpitaux de Paris sont de fait les géants de la donnée de santé en termes de volume, de qualité, de profondeur. Au-delà de la quantité, la qualité des annotations et la pertinence des données générées renforcent considérablement leur valeur.

De plus, nous avons la capacité de prescrire des capteurs, applications ou objets connectés qui engendrent des données supplémentaires. C'est une différence majeure d'avec les GAFAM, qui ne peuvent utiliser que des données existantes (lorsqu'ils y ont accès) et ne peuvent que rarement influencer sur celles qui sont générées. Nos hôpitaux sont par ailleurs des tiers de confiance crédibles pour les malades qui se méfient de plus en plus des GAFAM pour le partage de leurs données numériques. Enfin, la régulation forte renforce la difficulté d'utilisation de ces données de santé, et en particulier leur utilisation en dehors de leur lieu de production.

Il est difficile pour des acteurs extérieurs d'y avoir accès, car ces données sont très sensibles et leur utilisation strictement réglementée. La préservation réelle de leur confidentialité est complexe même en cas d'anonymisation, en particulier pour les maladies rares.

La valorisation de ces données pourrait reposer sur des modèles multiples : vente à des tiers privés qui développeraient une propriété intellectuelle, valorisation directe par des équipes hospitalières



dédiées qui céderaient ensuite le droit d'utilisation des algorithmes développés à d'autres hôpitaux, création de partenariats public-privé entre des sociétés technologiques déjà existantes et des hôpitaux ou création *de novo* de sociétés dans lesquels le groupe hospitalier aurait une participation au capital. On peut même imaginer que les trois options soient utilisées en parallèle, selon le type de données ou d'algorithmes à développer. Il ne faut pas sous-estimer la complexité pour l'hôpital public de négocier avec des entreprises privées dont l'expérience à conclure des accords commerciaux est largement supérieure à la leur.

## Faire des hôpitaux des acteurs de l'innovation

Le mot « innovation » est souvent associé à de nouveaux médicaments, à la mise au point de nouveaux dispositifs ou à des avancées technologiques, mais il peut aussi s'appliquer à de nouvelles descriptions de postes, de nouveaux modèles de soins, de meilleurs processus et approches de ceux-ci<sup>11</sup> ou de nouvelles méthodes de financement.

Dans le domaine du numérique ou de l'intelligence artificielle et plus largement de l'informatique, des acteurs de la taille de l'AP-HP devraient avoir la capacité d'innover et développer des outils correspondant mieux à leurs besoins et attentes. Ils pourraient pour cela bénéficier de l'expertise considérable disponible plutôt que devoir utiliser des logiciels commerciaux peu ou pas adaptés et dont les licences représentent une charge importante. Ces logiciels auraient bien évidemment pour ambition d'être proposés ensuite à d'autres hôpitaux. Cette vision, qui semble simple, est en pratique impossible car l'AP-HP n'est pas autorisée à éditer des logiciels ni à vendre ceux qu'elle a développés. Selon les outils ou innovations envisagées, ils pourraient être réalisés par les hôpitaux universitaires seuls ou en lien étroit avec d'autres acteurs économiques comme des *start-ups*.

Les hôpitaux et leur personnel devraient pouvoir proposer de nouvelles interventions thérapeutiques ou de nouvelles organisations

de soins mixant interventions numériques à distance et interventions humaines plus classiques souvent en face-à-face, appelées soins mixtes ou « *blended care* ».

## Faire des hôpitaux des sites experts en méthodologie

L'évaluation clinique de tous les nouveaux outils à visée diagnostique, pronostique ou thérapeutique reste un sujet complexe au plan méthodologique comme d'un point de vue organisationnel. Par ailleurs, il faudra évaluer non seulement ces nouveaux dispositifs ou algorithmes isolément, mais également les nouvelles organisations de soins les intégrant. La demande dans ces différents domaines est forte, et les compétences nécessaires différentes de celles requises par les évaluations réalisées par les structures en charge de la recherche clinique classique. Créer des structures capables de conseiller les entreprises, proposer les méthodologies adaptées, choisir les sites cliniques et populations, mettre en œuvre les interventions et analyser les données sera indispensable.

1. Lubarsky *et al.*, 2021 ; Bredenhoff *et al.*, 2010.
2. Collins & Riley, 2016.
3. Knutson, 2021.
4. Collins & Riley, 2016.
5. *Ibid.*
6. Fogg, 2003.
7. Institute of Medicine, 2011 et 2014 ; Menear *et al.*, 2019.
8. <https://www.ahrq.gov/learning-health-systems/about.html>
9. *Ibid.*
10. Enticott *et al.*, 2021.
11. Ferringier, 2015.

## CHAPITRE 10

# Initier un débat éclairé

Les choix stratégiques proposés influenceront notre offre de soins. Le dessein global esquissé mais également les modalités pratiques de réalisation et le rôle des différents acteurs demandent sans nul doute d'être discutés. Au-delà des critiques multiples, et parfois légitimes, qui ne manqueront pas de fleurir, prendre aussi en compte les alternatives possibles aux choix proposés et leurs implications, pour les malades comme pour les acteurs du système de santé, est nécessaire. Nul doute qu'aucune de ces alternatives n'est exempte de problèmes et le choix de la meilleure option nécessite donc un débat sur les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles.

Si l'on considère que le suivi des malades et la réalisation d'interventions à distance vont devenir incontournables dans les soins au <sup>XXI</sup><sup>e</sup> siècle, plusieurs questions se posent : qui doit les développer, qui doit les gérer, combien de plates-formes de suivi sont nécessaires, quel sera le rôle des différents acteurs ?

Ce qui doit primer, ce sont les intérêts des malades à court et long terme et le maintien d'un système de soins efficient, qui ne peut bien évidemment s'imaginer sans l'adhésion des différents soignants impliqués.

Actuellement, de nombreuses plates-formes, centrées sur la prise en charge d'une maladie unique (par exemple l'insuffisance cardiaque ou le diabète), sont développées par des acteurs privés. Plusieurs plates-formes concurrentes sont parfois disponibles pour le suivi d'une seule et même pathologie. Les problèmes induits sont multiples. Si le malade a non pas une mais plusieurs maladies chroniques (ce qui,

rappelez-le, concerne plus de 50 % des malades chroniques), il pourrait avoir besoin de se connecter à une plate-forme différente pour chacune de ces maladies, ce qui n'est idéal ni pour lui ni pour son médecin. Le médecin, de son côté, pourrait prendre en charge des malades atteints de la même pathologie mais suivis sur des plates-formes différentes. Il semble donc plus simple et ergonomique pour tous qu'une seule plate-forme de suivi soit utilisée pour toutes les pathologies, et tous les malades suivis par un même médecin. Une plate-forme unique limite les difficultés d'utilisation (simplifie les modalités de connexion et suivi, facilite le paramétrage et évite des rendus des alertes différents, etc.). Simplifier ce paysage complexe favorisera sans nul doute l'adhésion de tous à ces outils et facilitera leur prise en mains.

Localiser ces plates-formes à l'hôpital a du sens si l'on prend en compte la nécessité de les coupler à des équipes médicales et soignantes capables de gérer des alertes à toute heure du jour et de la nuit.

Même hébergées à l'hôpital, de telles plateformes pourraient être conçues d'emblée pour être partagées au niveau d'un territoire entre les différents acteurs, hospitaliers ou libéraux. Leur utilisation pour assurer le suivi d'un patient ou mettre en route une intervention comportementale, pourrait être prescrite à l'initiative de tout médecin, hospitalier ou libéral. Les localiser dans les centres hospitaliers régionaux que sont les CHU ne semble pas déraisonnable puisque ceux-ci jouent déjà le rôle de plates-formes technologiques dans des domaines divers.

Par ailleurs, dans le but de développer un système de santé apprenant, il semble logique que ces données soient utilisées par ces mêmes hôpitaux. Elles permettraient de développer des algorithmes diagnostiques, pronostiques ou thérapeutiques, et d'améliorer la qualité des soins.

Des plates-formes similaires pourraient probablement être mises en œuvre également par des groupes de cliniques ou d'acteurs hospitaliers privés si leur taille le permet.

Le développement de ces plates-formes pourrait (ou devrait) être réalisé en liens avec des acteurs privés dont les capacités

technologiques et l'agilité sont infiniment supérieures à celles des acteurs publics.

Leur architecture pourrait être conçue de manière très modulaire, avec la possibilité de les connecter à des modules développés par des acteurs privés ou publics différents dans le cadre d'une répartition des rôles afin de développer *in fine* une plate-forme disposant de l'ensemble des fonctionnalités nécessaires.

Les différents modules indispensables (par exemple un module de prescription, un module de suivi, des modules de connexion d'objets connectés ou de capteurs, des modules de rendu des résultats, ou de gestion des alertes, des modules d'interopérabilité, des modules d'interfaçage avec les autres données hospitalières) peuvent parfaitement être développés indépendamment.

Il semble raisonnable cependant de différencier le développement technologique, qui pourrait être une coconstruction public-privé, de la gestion des plates-formes comme des données, qui pourrait être réalisées par des acteurs publics (au moins pour celles situées dans des hôpitaux publics).

Il ne fait guère de doute que la capacité d'innovation et de disruption des entreprises privées est supérieure à celle des services publics. Le caractère innovant et la superbe qualité des *start-ups* technologiques françaises sont largement reconnus au niveau international. Leur implication dans la création de telles plates-formes faciliterait indéniablement leur développement et leur déploiement. Dans le même temps, leur utilisation large et à l'échelle dans des hôpitaux de grande taille et reconnus sur le plan international constituerait des cas d'usages qui aideraient probablement à la vente et au déploiement dans d'autres pays.

Si beaucoup des acteurs s'accordent sur l'intérêt et la nécessité de tels partenariats, il y a loin de la théorie à la pratique, et parfois un décalage entre un discours « politique » qui les encourage et les possibilités réelles sur le terrain. La faiblesse en France de ces partenariats n'est pas seulement liée à un manque d'envie des acteurs publics et à leur méfiance mais à des problèmes systémiques qui les rendent quasiment impossibles ou limitent leur intérêt. Il paraît donc indispensable de repenser ces relations public-privé et d'envisager des

conditions de partenariats équilibrés bénéficiant aux deux types d'acteurs.

Bien que les hôpitaux soient les plus gros producteurs de données et l'un des principaux acteurs en termes d'expertise métier, ils ne peuvent développer des partenariats équilibrés. En théorie, leur prise de participation dans des sociétés cocréées avec des partenaires privés est légalement possible, politiquement encouragée, mais demeure en pratique extrêmement difficile. Pour pouvoir le faire, les hôpitaux ne doivent pas être en déficit. Or, la majorité des CHU le sont chroniquement, ce qui, même si les sommes en jeu sont très réduites (de l'ordre de quelques milliers ou dizaines de milliers d'euros lors de la création de *start-ups*), les empêche de prendre de telles participations. Pourtant, ces sommes n'entraînent aucun risque financier réel. Enfin, les règles des marchés publics compliquent, voire interdisent, l'utilisation par un hôpital public d'un produit qu'il aurait développé lui-même avec une *start-up*.

Pour développer des géants européens dans ce domaine, il faut utiliser l'agilité et la technicité de nos *start-ups*, les forces de notre système hospitalier et adapter nos règles et lois.

Décider de l'évolution de notre système de santé à l'heure du numérique et de l'intelligence artificielle est un enjeu majeur. L'enjeu est tel que nous ne pouvons faire l'économie d'un débat, en prenant en compte les points de vue des différents acteurs et utilisateurs et des différents fournisseurs de soins (acteurs publics et privés, médecins hospitaliers et de ville, personnels soignants).

Ce débat devra aborder des questions de nature différente mais souvent liées, comme les modalités de financement du système de soins, le rôle des différents acteurs, la valorisation ou non des données produites par les hôpitaux, à leur bénéfice ou à celui d'autres acteurs, les questions de souveraineté des données et les modalités de partenariats public-privé. Un tel débat devra inclure les usagers, les citoyens, les financeurs, les partenaires sociaux et les représentants politiques. Pour informer ce débat, il faudra s'appuyer sur des scénarios réalistes, et permettre un choix.

La nécessité d'un tel débat n'est pas une spécificité française, et ces questions, notamment celles de la valorisation des données, se posent également dans d'autres pays. Ainsi, au Royaume-Uni, les données du

UK's National Health Service sont considérées comme une source de valeur unique pour la nation<sup>1</sup>. Comme l'a expliqué Bagenal « à une époque où les ressources du NHS sont limitées, il est tentant de considérer les données des patients du NHS comme une ressource qui peut être exploitée pour améliorer l'efficacité du NHS et déployée pour générer des revenus qui font cruellement défaut. Mais sans une conversation honnête et transparente avec le public et une stratégie nationale soigneusement élaborée, le NHS risque de perdre la confiance du public et de dévaluer un trésor national<sup>2</sup> ». En fait, différents modèles s'opposent. Certains pensent que ces données sont un bien public et doivent donc être exploitées dans un cadre public et utilisées pour financer et renforcer le système de soins. D'autres, comme Israël, ont choisi de partager ces données avec les chercheurs et les entreprises privées (pharmaceutiques en particulier), espérant que ce partage permettra d'améliorer la santé de la population et de générer des revenus qui pourraient atteindre plusieurs milliards de dollars. D'autres encore proposent des modèles où ce sont les malades qui sont rémunérés pour la mise à disposition de leurs données.

Si le but est de préserver un modèle hospitalier public, il est important d'assurer sa viabilité économique, et diversifier ses sources de financement peut être une piste intéressante. Dans un système où les soins sont majoritairement financés par la solidarité nationale, valoriser les données produites dans nos hôpitaux publics pour contribuer à leur équilibre financier est une option qui ne semble pas totalement déraisonnable.

*A contrario*, imaginer que ces données pourraient être mises à disposition gratuitement et valorisées par d'autres acteurs économiques, par exemple pour développer des algorithmes, est une option posant question. Mettre à disposition sans contrepartie est problématique pour différentes raisons, la première étant le coût de production de ces données. La collecte, la conservation et le maintien d'un ensemble de données de haute qualité demandent beaucoup de temps, d'efforts et de dépenses surtout si des annotations spécifiques sont demandées. La seconde raison est que les acteurs privés qui les utiliseront pour développer des algorithmes ne manqueront pas de demander ensuite aux hôpitaux de payer pour avoir accès à ceux-ci.

Il ne faut cependant pas négliger la complexité, pour les hôpitaux, à commercialiser leurs données. Certains ont souligné qu'ils sont

rarement en mesure d'évaluer correctement leur valeur ni de négocier avec des entreprises dont les compétences en ce domaine sont bien supérieures<sup>3</sup>.

Par ailleurs, l'attractivité des CHU est en partie liée à de multiples expertises extrêmement spécialisées, qui ne peuvent être disponibles dans des hôpitaux privés ou publics de moindre taille. D'un point de vue strictement économique, faciliter sans contrepartie financière le développement d'algorithmes permettant à tous les acteurs, par exemple les cliniques privées, d'accéder à une expertise dont ils ne disposent pas à ce jour est discutable (même si c'est bien sûr souhaitable du point de vue de la qualité des soins). Perdre un avantage concurrentiel qui est l'apanage quasi exclusif des CHU diminue forcément leur valeur ajoutée et fausse la concurrence public-privé.

Dans ce domaine, on suppose souvent que les données ouvertes (ou *open data*) permettent de créer de la valeur si elles sont utilisées par les entreprises, et que plus les entreprises y auront accès, plus la valeur créée sera grande. Ceci est parfaitement exact d'un point de vue général, mais pose, en ce qui concerne les données de santé, plusieurs problèmes. Tout d'abord, ce n'est équitable que si le monde entier joue le jeu. À ce jour, à ma connaissance, aucun État n'offre un accès large et gratuit à ses données de santé et hospitalières. Les rares ayant choisi un partage large des données le font moyennant finance. D'autre part, il semble évident que ce partage bénéficiera en premier lieu aux entreprises leaders du domaine, les GAFAM, et plus difficilement aux *start-ups*. Par ailleurs, même si les *start-ups* technologiques françaises sont très performantes, les capitaux qu'elles lèvent sont le plus souvent, dès que leur taille s'accroît significativement, apportés par des fonds d'investissement étrangers (souvent américains) qui deviennent rapidement majoritaires.

Enfin, cela va à l'encontre des principes de valorisation économiques dans le domaine du développement d'algorithmes, où ce qui est d'abord valorisé, ce sont les données annotées de qualité, puis l'expertise métier, enfin seulement la capacité technique à développer des algorithmes (capacité qui est maintenant largement accessible car les méthodes sont bien décrites et disponibles).



À ce jour, l'intervention de l'État a été limitée. Il peut choisir de « laisser faire le marché » ou au contraire d'intervenir pour proposer un nouveau modèle. Les risques du « laisser faire » sont importants. Le médecin que je suis espère que le scénario qui se dessine actuellement, c'est-à-dire l'émergence désordonnée de multiples outils et plateformes de suivi, détenues par des industriels ou des consortiums industrie pharmaceutique/GAFAM (comme celui unissant Google et Sanofi) qui détiendront la valeur et imposeront l'utilisation de leurs algorithmes, ou de courtiers en données, ne se produira pas. Ce serait dangereux pour notre souveraineté, dans un domaine qui représente des enjeux sociétaux et économiques importants. Le risque de dépendance de nos hôpitaux à des algorithmes développés par d'autres et dont le coût d'utilisation serait non maîtrisé est réel.

Ce scénario ne prend pas en compte les besoins et attentes des utilisateurs finaux (malades et acteurs de soins) et risque de conduire à une désorganisation de notre système de soins.

En repenser le financement est indispensable quelle que soit l'option retenue, et le rôle de l'État est fondamental.

1. UK House of Lords, 2018.
2. Bagenal & Naylor, 2018.
3. *Ibid.*

# Conclusion

**Réinventer un modèle de soin centré sur le patient** et tirant pleinement parti des technologies digitales et de l'intelligence artificielle est désormais possible. Ces technologies numériques permettent d'améliorer les soins existants tout en satisfaisant des besoins auxquels on ne pouvait auparavant s'attaquer faute des moyens humains nécessaires. Ces technologies peuvent ainsi aider à renforcer la continuité des soins. La relation avec les soignants, souvent fondée sur un nombre limité de face-à-face occasionnels à date fixes, deviendrait ainsi une relation continue mieux adaptée aux besoins et attentes des malades. Ces technologies permettraient également de réorienter une partie du système vers la prévention : la médecine, de réactive, pourrait devenir proactive. Enfin, le déploiement à large échelle d'interventions digitales permettrait de modifier les comportements déterminants dans la survenue des maladies chroniques.

L'impact potentiel de ces technologies en termes de productivité est considérable : elles peuvent nous permettre d'améliorer la qualité des soins, de réduire les inégalités territoriales, de diminuer la charge de travail administratif des soignants, le temps ainsi libéré pouvant être consacré au malade. La réduction des coûts de la santé est estimée à 25 % pour certaines maladies chroniques.

Il faudra repenser l'organisation des soins, la relation entre patients et soignants, les relations ville-hôpital, les métiers de la santé, l'architecture des locaux, les modalités de financement. Les obstacles culturels et systémiques sont multiples, mais il ne fait guère de doute que cette révolution numérique aura lieu. Les acteurs du soin doivent donc y être préparés. Les seules incertitudes concernent le rythme, les

rôles respectifs des différents acteurs et l'implication de l'État. Pour l'instant, on assiste à une multiplication anarchique de plates-formes spécifiques d'une maladie ou d'un outil connecté particulier. D'autres options sont possibles, en particulier une évolution du rôle des hôpitaux universitaires qui pourraient développer des plates-formes régionales digitales de suivi à distance et d'interventions numériques, et devenir des acteurs importants de la valorisation des données et de la formation continue. Ces nouveaux hôpitaux augmentés dans leurs ambitions, leurs missions et leur financement pourraient contribuer à la réinvention de l'hôpital que beaucoup appellent de leurs vœux. Des partenariats public-privés pourraient sans nul doute contribuer à certaines de ces activités. L'association d'acteurs hospitaliers de grande taille et d'acteurs technologiques très innovants pourrait permettre l'émergence des futurs leaders européens des données en santé.

Un débat éclairé sur les différents scénarios possibles et leurs implications multiples en termes aussi bien de rôles des différents acteurs que de financement ou de souveraineté économique est urgent.

# Références

- A Guide for Manufacturers, Service Providers and Users, Federal Institute for Drugs and Medical Devices (BfArM) Kurt-Georg-Kiesinger-Allee 3–5 53175 Bonn, Version 1.0 august 7th 2020.
- AAMC 2020 <https://www.aamc.org/news-insights/press-releases/new-aamc-report-confirms-growing-physician-shortage>.
- Accenture. Artificial intelligence is the future of growth. <https://www.accenture.com/us-en/insight-artificial-intelligence-futuregrowth>.
- Adler, P., Falk, C., Friedler, S.A. *et al.* Auditing black-box models for indirect influence. *Knowl. Inf. Syst.* 54, 95–122 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10115-017-1116-3>.
- Anderson D.C., Pang S.A., O'Neill D., Edelstein EA. The convergence of architectural design and health. *Lancet*. 2018 Dec 8 ; 392(10163) : 2432-2433. doi : 10.1016/S0140-6736(18)33009-5. PMID : 30527409.
- Arndt B.G., Beasley J.W., Watkinson M.D., Temte J.L., Tuan W.J., Sinsky C.A., Gilchrist V.J. Tethered to the EHR : Primary Care Physician Workload Assessment Using EHR Event Log Data and Time-Motion Observations. *Ann. Fam. Med.* 2017 Sep ; 15(5) : 419-426. doi : 10.1370/afm.2121. PMID : 28893811 ; PMCID : PMC5593724.
- Artandi A., Thomas S., Shah N.R., Srinivasan M., Rapid System Transformation to More Than 75 % Primary Care Video Visits within Three Weeks at Stanford : Response to Public Safety Crisis during a Pandemic. *NEJM Catalyst* Vol. No. |

April 21, 2020.

Asch D.A., Muller R.W., Volpp K.G. Automated hovering in health care--watching over the 5 000 hours. *N. Engl. J. Med.* 2012 Jul 5 ; 367(1) : 1-3. doi : 10.1056/NEJMp1203869. Epub 2012 Jun 20. PMID : 22716935.

Atlas des systèmes information hospitaliers 2020. État des lieux des systèmes d'information hospitaliers, novembre 2021 ministère de la Santé et des Solidarités, Agence technique de l'information sur l'hospitalisation.

Aubert I., Kletz F., Jobin C. *Crise Covid et organisation du système de santé*. Presses de L'école Des Mines Économie Et Gestion 8 juillet 2021 Entreprise, économie & droit.

Babic B., Gerke S., Evgeniou T., Cohen I.G. Beware explanations from AI in health care. *Science*. 2021 Jul 16 ; 373(6552) : 284-286. doi : 10.1126/science. abg1834. PMID : 34437144.

Bagenal J., Naylor A. Harnessing the value of NHS patient data. *Lancet*. 2018 dec 8 ; 392(10163) : 2420-2422. doi : 10.1016/S0140-6736(18)32942-8. Epub 2018 Nov 16. PMID : 30454848.

Bagust A., Place M., Posnett JW. Dynamics of bed use in accommodating emergency admissions : stochastic simulation model. *BMJ* 1999.

Bally L., Thabit H., Hartnell S., *et al*. Closed-loop insulin delivery for glycemic control in noncritical care. *N. Engl. J. Med.* 2018 ; 379 : 547-556.

Banks M.A. Sizing up big data. *Nat. Med.* 2020 jan ; 26(1) : 5-6. doi : 10.1038/s41591-019-0703-0. PMID : 31932781.

Barnett, K., *et al*, Epidemiology of multimorbidity and implications for health care, research, and medical education : a cross-sectional study. *Lancet*, 2012. 380(9836) : p. 37-43.

Basch E., Deal A.M., Dueck A.C., *et al*. Overall Survival Results of a Trial Assessing Patient-Reported Outcomes for Symptom Monitoring During Routine Cancer Treatment. *JAMA*. 2017 ; 318(2) : 197–198. doi : 10.1001/jama.2017.7156.

Beam A.L., Kohane I.S., Translating Artificial Intelligence into

Clinical Care. *JAMA* 2016.

- Bergeron H., Borraz O., Castel P. *et al.*, *Covid-19 : une crise organisationnelle*. Presses de Sciences Po, « Essai », 2020.
- Bérubé C., Schachner T., Keller R., Fleisch E., V Wangenheim F., Barata F., Kowatsch T. Voice-Based Conversational Agents for the Prevention and Management of Chronic and Mental Health Conditions : Systematic Literature Review. *J. Med. Internet Res.* 2021 Mar 29 ; 23(3) : e25933. doi : 10.2196/25933. PMID : 33658174.
- Berwick D.M., Loehrer S., Gunther-Murphy C. Breaking the Rules for Better Care. *JAMA.* 2017 Jun 6 ; 317(21) : 2161-2162. doi : 10.1001/jama.2017.4703.
- Bindman A.B., Pronovost P.J., Asch D.A. Funding Innovation in a Learning Health Care System. *JAMA.* 2018 Jan 9 ; 319(2) : 119-120. doi : 10.1001/jama.2017.18205. PMID : 29270611.
- Blanpain, N. and Chardon O. *Projections de population à l'horizon 2060*. INSEE, 2010.
- Blumenthal, D., Realizing the Value (and Profitability) of Digital Health Data. *Ann. Intern. Med.*, 2017. 166(11): p. 842-843.
- Bourcier D., de Filippi P., Vers un droit collectif sur les données de santé. *Revue de droit sanitaire et social*, Sirey, Dalloz, 2018.
- Braithwaite J. Changing how we think about healthcare improvement. *BMJ* 2018 ;.
- Bredenhoff, Eelco & Lent, Wineke & Harten, Wim. Exploring types of focused factories in hospital care : A multiple case study. *BMC health services research.* 2010, 10. 154. 10.1186/1472-6963-10-154.
- Brosig-Koch, J., Hennig-Schmidt, H., Kairies-Schwarz, N., & Wiesen, D. The effects of introducing mixed payment systems for physicians : Experimental evidence. *Health Economics*, 2017, 26(2), 243-262.
- Buffel du Vaure C., Ravaud P., Baron G., Barnes C., Gilberg S., Boutron I. Potential workload in applying clinical practice guidelines for patients with chronic conditions and multimorbidity : a systematic analysis. *BMJ Open.* 2016 Mar 22 ; 6(3) : e010119. .

- Cabitz F., Rasoini R., Gensini G.F. Unintended consequences of machine learning in medicine. *JAMA*. 2017 ; 318(6) : 517-518.
- Campanella G., Hanna M.G., Geneslaw L., Miraflor A., Werneck Krauss Silva V., Busam K.J., Brogi E., Reuter V.E., Klimstra D.S., Fuchs T.J. Clinical-grade computational pathology using weakly supervised deep learning on whole slide images. *Nat. Med.* 2019 Aug ; 25(8) : 1301-1309. doi : 10.1038/s41591-019-0508-1.
- Caregivers & Technology. *What They Want and Need*, Project Catalyst & HITLAB for AARP, April, 2016.
- Case M.A., Burwick H.A., Volpp K.G., Patel M.S. Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data. *JAMA*. 2015 Feb 10 ; 313(6) : 625-6.
- Chaput H., Monziols M., Fressard L., Verger P., Bruno Ventelou B., Zaytseva A., Deux tiers des médecins généralistes libéraux déclarent travailler au moins 50 heures par semaine. *Etudes&Résultats DREES*, 2019, Numéro 1113.
- Chevance A., Fortel A., Jouannin A., Denis F., Mamzer M.F., Ravaud P., Sidorkiewicz S. Acceptability of and Willingness to Take Digital Pills by Patients, the Public, and Health Care Professionals : Qualitative Content Analysis of a Large Online Survey. *J. Med. Internet Res.* 2022 Feb 18 ; 24(2) : e25597.
- Coiera E. Four rules for the reinvention of health care. *BMJ*. 2004 May 15 ; 328(7449) : 1197-9. doi : 10.1136/bmj.328.7449.1197. PMID : 15142933 ; PMCID : PMC411109.
- Collins F. S., Riley W. T., NIH's transformative opportunities for the behavioral and social sciences. *Sci. Transl. Med.* 8, 366ed14 (2016).
- Conseil national de l'Ordre des Médecins, 2021, Atlas de démographie médicale, [https://www.conseil-national.medecin.fr/sites/default/files/external-package/analyse\\_etude/1r.i.y.b.2q./atlas\\_demographie\\_medicale\\_-\\_cnom\\_-\\_2021.pdf](https://www.conseil-national.medecin.fr/sites/default/files/external-package/analyse_etude/1r.i.y.b.2q./atlas_demographie_medicale_-_cnom_-_2021.pdf).
- Davies S.C., Winpenney E., Ball S., Fowler T., JRubin J., Nolte E

For debate : a new wave in public health improvement. *Lancet* (British edition). 2014, Vol 384, Num 9957, p. 1889-1895.

Deloitte. *Pharma and the connected patient. How digital technology is enabling patient centricity*, 2017. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/life-sciences-health-care/deloitte-uk-pharma-and-the-connected-patient.pdf>.

Denis F., Basch E., Septans A.L., Bennouna J., Urban T., Dueck A.C., Letellier C. Two-Year Survival Comparing Web-Based Symptom Monitoring vs Routine Surveillance Following Treatment for Lung Cancer. *JAMA*. 2019 Jan 22 ; 321(3) : 306-307. doi : 10.1001/jama.2018.18085. PMID : 30667494 ; PMCID : PMC6439676.

Denis F., Lethrosne C., Pourel N., Molinier O., Pointreau Y., Domont J., Bourgeois H., Senellart H., Trémolières P., Lizée T., Bennouna J., Urban T., El Khouri C., Charron A., Septans A.L., Balavoine M., Landry S., Solal-Céligny P., Letellier C. Randomized Trial Comparing a Web-Mediated Follow-up With Routine Surveillance in Lung Cancer Patients. *J. Natl. Cancer Inst*. 2017a Sep 1 ; 109(9), .

Denis F., Yossi S., Septans A.L., Charron A., Voog E., Dupuis O., Ganem G., Pointreau Y., Letellier C. Improving Survival in Patients Treated for a Lung Cancer Using Self-Evaluated Symptoms Reported Through a Web Application. *Am. J. Clin. Oncol*. 2017b Oct ; 40(5) : 464-469. doi : 10.1097/COC.000000000000189. PMID : 25811297.

Densen P. Challenges and opportunities facing medical education. *Trans. Am Clin. Climatol. Assoc*. 2011 ; 122:48-58. PMID : 21686208 ; PMCID : PMC3116346.

Di Guida S., Gyrd-Hansen D., Oxholm A.S. Testing the myth of fee-for-service and overprovision in health care. *Health Econ*. 2019 May ; 28(5) : 717-722. doi : 10.1002/hec.3875. Epub 2019 Mar 10. PMID : 30854756.

Doctolib 2017 [https://toute-la.veille-acteurs-sante.fr/files/2017/05/170429\\_Synth%C3%A8se-Etude\\_MG.pdf](https://toute-la.veille-acteurs-sante.fr/files/2017/05/170429_Synth%C3%A8se-Etude_MG.pdf).



Elliott J., Lawrence R., Minx J.C., Oladapo O.T., Ravaud P., Tendal Jeppesen B., Thomas J., Turner T., Vandvik P.O., Grimshaw J.M. Decision makers need constantly updated evidence synthesis. *Nature*. 2021 Dec ; 600(7889) : 383-385.

Enticott J., Johnson A. & Teede H. Learning health systems using data to drive healthcare improvement and impact : a systematic review. *BMC Health Serv. Res.* 2021 ; 21(1) : 200.

Esteva A., *et al.*, Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 2017. 542(7639) : p. 115-118.

Fagherazzi G., Ravaud P. Digital diabetes : Perspectives for diabetes prevention, management and research. *Diabetes & Metabolism*, 2019.

FDA-2019-N-1185-0001. Proposed Regulatory Framework for Modifications to Artificial Intelligence/Machine Learning (AI/ML)-Based Software as a Medical Device (SaMD) – Discussion Paper and Request for Feedback.

Ferringer T. Leading innovation. *Cutis*. 2015 Oct ; 96(4) : 213-4. PMID : 26682284.

Fogg, B., *Persuasive Technology*. 2003, San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers.

Gaffney H., Mansell W., Tai S. Conversational Agents in the Treatment of Mental Health Problems : Mixed-Method Systematic Review. *JMIR Ment. Health*. 2019 Oct 18 ; 6(10) : e14166.

Garcelon N., Neuraz A., Benoit V., Salomon R., Kracker S., Suarez F., Bahi-Buisson N., Hadj-Rabia S., Fischer A., Munnich A., Burgun A. Finding patients using similarity measures in a rare diseases-oriented clinical data warehouse : Dr. Warehouse and the needle in the needle stack. *J. Biomed. Inform.* 2017 Sep ; 73:51-61. doi : 10.1016/j.jbi.2017.07.016. Epub 2017 Jul 25. PMID : 28754522.

GBD 2016 DALYs and HALE Collaborators, Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 333 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for

- 195 countries and territories, 1990-2016 : a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*, 2017. 390(10100) : p. 1260-1344. .
- Gerteis, J., *et al.*, Multiple Chronic Conditions Chartbook. 2014, Rockville : Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ).
- Ghassemi M., Oakden-Rayner L., Beam A.L. The false hope of current approaches to explainable artificial intelligence in health care. *Lancet Digit. Health*. 2021 Nov ; 3(11) : e745-e750. doi : 10.1016/S2589-7500(21)00208-9. PMID : 34711379.
- Goldstein I.M., Lawrence J., Miner A.S. Human-Machine Collaboration in Cancer and Beyond : The Centaur Care Model. *JAMA Oncol*. 2017 ; 3(10) : 1303–1304. doi : 10.1001/jamaoncol.2016.6413.
- Gong D., Wu L., Zhang J., Mu G., Shen L., Liu J., Wang Z., Zhou W., An P., Huang X., Jiang X., Li Y., Wan X., Hu S., Chen Y., Hu X., Xu Y., Zhu X., Li S., Yao L., He X., Chen D., Huang L., Wei X., Wang X., Yu H. Detection of colorectal adenomas with a real-time computer-aided system (ENDOANGEL) : a randomised controlled study. *Lancet Gastroenterol. Hepatol*. 2020 Apr ; 5(4) : 352-361. doi : 10.1016/S2468-1253(19)30413-3. Epub 2020 Jan 22. Erratum in : *Lancet Gastroenterol Hepatol*. 2020 Apr ; 5(4) : e3.
- Gulshan, V., *et al.*, Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *Jama*, 2016. 316(22) : p. 2402-2410.
- Guthrie B., Payne K., Alderson P., McMurdo M.E.T., Mercer S.W. Adapting clinical guidelines to take account of multimorbidity. *BMJ* 2012 ; 345 : e6341. doi : 10.1136/bmj.e6341.
- Hanlon P., Carlisle S., Hannah M., Reilly D., Lyon A. Making the case for a « fifth wave » in public health. *Public Health*. 2011 ; 125: 30-36.
- Hart, J. Tudor (1971). The Inverse Care Law. *Lancet*. 297:

- Hobbs FDR, Bankhead C., Mukhtar T., Stevens S., Perera-Salazar R., Holt T., Salisbury C; National Institute for Health Research School for Primary Care Research. Clinical workload in UK primary care: a retrospective analysis of 100 million consultations in England, 2007-14. *Lancet*. 2016 Jun 4; 387(10035): 2323-2330. doi: 10.1016/S0140-6736(16)00620-6. Epub 2016 Apr 5. Erratum in: *Lancet*. 2016 Jun 4; 387(10035): 2292. PMID: 27059888; PMCID: PMC4899422.
- Hollander J.E., Sites F.D., the transition from reimagining to recreating Health Care is now. *NEJM Catalyst* 2020.
- Hsin, H., Fromer, M., Peterson, B. *et al*. Transforming Psychiatry into Data-Driven Medicine with Digital Measurement Tools. *npj Digital Med* 1, 37 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0046-0>.
- Insel, T.R., Digital Phenotyping : Technology for a New Science of Behavior. *JAMA*, 2017.
- Institute of Medicine. *Making a Difference : Roundtable Charter, Strategy, Tactics, Impact*. Washington, DC : IOM ; 2014.
- Institute of Medicine. *Roundtable on Value and Science-Driven Health Care : The Learning Health System and its Innovation Collaboratives* : Update Report. Washington, DC : IOM ; 2011.
- .
- Jain S.H., Powers B.W., Hawkins J.B., Brownstein J.S. The digital phenotype. *Nat Biotechnol*. 2015 May ; 33(5) : 462-3. doi: 10.1038/nbt.3223. PMID : 25965751.
- Jaklevic MC Telephone Visits Surge During the Pandemic, but Will They Last ? *JAMA*. 2020.
- Jang S., Graffy P.M., Ziemlewicz T.J., Lee S.J., Summers R.M., Pickhardt P.J. Opportunistic Osteoporosis Screening at Routine Abdominal and Thoracic CT: Normative L1 Trabecular Attenuation Values in More than 20 000 Adults. *Radiology*. 2019 May ; 291(2) : 360-367.
- Kawachi, I., It's All in the Game-The Uses of Gamification to Motivate Behavior Change. *JAMA Intern. Med.*, 2017.

- Kesselheim, A.S., *et al.*, Clinical decision support systems could be modified to reduce 'alert fatigue' while still minimizing the risk of litigation. *Health Aff* (Millwood), 2011. 30(12) : p. 2310-7.
- Kim J., Campbell A.S., de Ávila B.E., Wang J. Wearable biosensors for healthcare monitoring. *Nat. Biotechnol.* 2019 apr ; 37(4) : 389-406. doi : 10.1038/s41587-019-0045-y. Epub 2019 Feb 25. PMID : 30804534 ; PMCID : PMC8183422.
- Kinar Y., Akiva P., Choman E., Kariv R., Shalev V., Levin B., *et al.* (2017) Performance analysis of a machine learning flagging system used to identify a group of individuals at a high risk for colorectal cancer. *PLoS ONE* 12(2) : e0171759. doi : 10.1371/journal.pone.0171759.
- Kinar, Y. ; Kalkstein, N. ; Akiva, P. ; Levin, B. ; Half, E.E. ; Goldshtein, I. ; Chodick, G. ; Shalev, V. Development and validation of a predictive model for detection of colorectal cancer in primary care by analysis of complete blood counts : A binational retrospective study. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 2016, 23, 879-890.
- Knutson K.H., A Value Framework for Transforming Behavioral Health *NEJM Catalyst Innovations in Care Delivery* 2021 ; Vol. 2 No. 8.
- Koehler F., Koehler K., Deckwart O., Prescher S., Wegscheider K., Kirwan B.A., Winkler S., Vettorazzi E., Bruch L., Oeff M., Zugck C., Doerr G., Naegel H., Störk S., Butter C., Sechtem U., Angermann C., Gola G., Prondzinsky R., Edelmann F., Spethmann S., Schellong S.M., Schulze P.C., Bauersachs J., Wellge B., Schoebel C., Tajsic M., Dreger H., Anker S.D., Stangl K. Efficacy of telemedical interventional management in patients with heart failure (TIM-HF2) : a randomised, controlled, parallel-group, unmasked trial. *Lancet.* 2018 Sep 22 ; 392(10152) : 1047-1057. doi : 10.1016/S0140-6736(18)31880-4. Epub 2018 Aug 25. PMID : 30153985.

- Kosinski, M., D. Stillwell, and T. Graepel, Private traits and attributes are predictable from digital records of human behavior. *Proc. Natl. Acad. Sci USA*, 2013. 110(15) : p. 5802-5.
- Kroth P.J., Morioka-Douglas N., Veres S., *et al.* Association of Electronic Health Record Design and Use Factors With Clinician Stress and Burnout. *JAMA Netw Open*. 2019 ; 2(8) : e199609. .
- Laranjo L., Dunn A.G., Tong H.L., Kocaballi A.B., Chen J., Bashir R., Surian D., Gallego B., Magrabi F., Lau AYS, Coiera E. Conversational agents in healthcare : a systematic review. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 2018 Sep 1 ; 25(9) : 1248-1258. doi : 10.1093/jamia/ocy072. .
- Lasko T.A., Walsh C.G., Malin B. Benefits and Risks of Machine Learning Decision Support Systems. *JAMA*. 2017 Dec 19 ; 318(23) : 2355. doi : 10.1001/jama.2017.16623. PMID : 29260218.
- Legendre, B. Les trois quarts des personnes les plus éloignées des professionnels de premier recours vivent dans des territoires ruraux. DREES, *Études et Résultats*, 2021 : 1206.
- Les dépenses de santé en 2019 Résultats des comptes de la santé Édition 2020, sous la direction de Céline Marc, Jean-Cyprien Héam, Myriam Mikou et Mickaël Portela, Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques. .
- Les dossiers de la DREES N° 17 mai 2017 Déserts médicaux : comment les définir ? Comment les mesurer ? Directeur de la publication Franck von Lennep Responsable d'édition Souphaphone Douangdara ISSN 2495-120X.
- Les dossiers de la DREES N° 89 • décembre 2021 Remédier aux pénuries de médecins dans certaines zones géographiques Directeur de la publication Fabrice LENGART Responsable d'édition Valérie BAUER-EUBRIET ISSN 2495-120X.
- Liu X., Faes L., Kale A.U., Wagner S.K., Fu D.J., Bruynseels A., Mahendiran T., Moraes G., Shamdas M., Kern C., Ledsam J.R., Schmid M.K., Balaskas K., Topol E.J., Bachmann L.M., Keane P.A., Denniston A.K. A comparison of deep learning

performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging : a systematic review and meta-analysis. *Lancet Digit Health*. 2019 Oct ; 1(6) : e271-e297. doi : 10.1016/S2589-7500(19)30123-2. Epub 2019 Sep 25. Erratum in : *Lancet Digit Health*. 2019 Nov ; 1(7) : e334. PMID : 33323251.xw.

Lubarsky D., Keating E. [The Academic Medical Center as Collaborativ Partner: Six Strategic Questions for a Reinvention](#). *NEJM Catalyst Innovations in Care*, 2021 – [catalyst.nejm.org](https://catalyst.nejm.org).

Maassen O., Fritsch S., Palm J., Deffge S., Kunze J., Marx G., Riedel M., Schuppert A., Bickenbach J. Future Medical Artificial Intelligence Application Requirements and Expectations of Physicians in German University Hospitals : Web-Based Survey. *J. Med. Internet Res*. 2021 ; 23(3) : e26646. doi : 10.2196/26646.

Maguire R., McCann L., Kotronoulas G., Kearney N., Ream E., Armes J *et al*. Real time remote symptom monitoring during chemotherapy for cancer : European multicentre randomised controlled trial (eSMART). *BMJ* 2021 ; 374 : n1647. doi : 10.1136/bmj. n1647.

Mair F.S., Montori V.M., May C.R. Digital transformation could increase the burden of treatment on patients. *BMJ* 2021 Nov 25 ; 375 : n2909.

Mannion R., Braithwaite J. Unintended consequences of performance measurement in healthcare : 20 salutary lessons from the English National Health Service. *Ann. Intern. Med.* J. 2012.

Marc, C., Héam, J.-C., Mikou, M. *et al*. (2020). Les dépenses de santé en 2019. Résultats des comptes de la santé (édition 2020). Paris, France : DREES, coll. « Panoramas de la DREES-santé », fiche 2.

Markus A.F., Kors J.A., Rijnbeek P.R. The role of explainability in creating trustworthy artificial intelligence for health care : A comprehensive survey of the terminology, design choices, and evaluation strategies. *J. Biomed. Inform.* 2021 Jan ;

113:103655. doi : 10.1016/j. jbi.2020.103655. Epub 2020 Dec 10. PMID : 33309898.

May, C., V.M. Montori, and F.S. Mair, We need minimally disruptive medicine. *BMJ*, 2009. 339 : p. b2803.

Menear, M., Blanchette, M.A., Demers-Payette, O. *et al.* A framework for value-creating learning health systems. *Health Res. Policy Sys.* 17, 79 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12961-019-0477-3>.

Morgiève M., Genty C., Azé J., Dubois J., Leboyer M., Vaiva G., Berrouiguet S., Courtet P. A Digital Companion, the Emma App, for Ecological Momentary Assessment and Prevention of Suicide : Quantitative Case Series Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2020 Oct 9 ; 8(10) : e15741. doi : 10.2196/15741. PMID : 33034567 ; PMCID : PMC7584985.

MORI, Ipsos (2017) : The One-Way Mirror : Public attitudes to commercial access to health data. Wellcome Trust. *Journal contribution*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5616448.v1>.

Nahum-Shani I., Hekler E. B., Spruijt-Metz D., Building health behavior models to guide the development of just-in-time adaptive interventions : A pragmatic framework. *Health Psychol.* 34, 1209–1219 (2015).

Nahum-Shani, I., *et al.*, Just-in-Time Adaptive Interventions (JITAs) in Mobile Health : Key Components and Design Principles for Ongoing Health Behavior Support. *Annals of Behavioral Medicine*, 2016.

Obermeyer Z., Powers B., Vogeli C., Mullainatan S. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science* 2019: 447-453.

OECD, Empowering the health workforce Strategies to make the most of the digital Revolution.

OECD, Health at a Glance : Europe 2016, in State of Health in the EU Cycle. 2016, European Commission : Paris.

Oikonomidi T., Ravaud P., Cosson E., Montori V., Tran V.T. Evaluation of Patient Willingness to Adopt Remote Digital Monitoring for Diabetes Management. *JAMA Netw Open*.

2021 ; 4(1) : e2033115. doi : 10.1001/jamanetworkopen.2020.33115.

Ordre national des infirmiers, 2022. L'Ordre National des Infirmiers alerte de nouveau sur la situation de la profession et appelle à l'organisation d'États-généraux de l'attractivité des professions de santé, <https://www.ordre-infirmiers.fr/actualites-presse/articles/resultats-consultation-infirmiere-lordre-national-infirmiers-alerte-de-nouveau-sur-la-situation-de-la-profession.html>.

Pacheco-Lorenzo M.R., Valladares-Rodríguez S.M., Anido-Rifón L.E., Fernández-Iglesias M.J. Smart conversational agents for the detection of neuropsychiatric disorders : A systematic review. *J. Biomed. Inform.* 2021 Jan ; 113:103632. doi : 10.1016/j.jbi.2020.103632. Epub 2020 Dec 2. PMID : 33276112.

Parasuraman R., Riley V. Humans and Automation : Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors.* 1997 ; 39(2) : 230-253. doi : 10.1518/001872097778543886.

Parker J., Coiera E. Improving clinical communication : a view from psychology. *J. Am. Med. Inform. Assoc.* 2000 Sep-Oct ; 7(5) : 453-61. doi : 10.1136/jamia.2000.0070453. PMID : 10984464 ; PMCID : PMC79040.

Patel, M.S., D.A. Asch, and K.G. Volpp, Wearable devices as facilitators, not drivers, of health behavior change. *Jama*, 2015. 313(5) : p. 459-60.

Ponnada, A., *et al.*, Microinteraction Ecological Momentary Assessment Response Rates : Effect of Microinteractions or the Smartwatch ? *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, 2017. 1(3): p. 1-16.

Powles J., Hodson H. Google DeepMind and healthcare in an age of algorithms. *Health Technol.* (Berl). 2017 ; 7(4) : 351-367.

Rajpurkar, P., Chen, E., Banerjee, O. Topol E. AI in health and medicine. *Nat. Med.*, 2022.28, 31-38.

Rajpurkar P., Irvin J., Ball R.L., Zhu K., Yang B., *et al.* Deep learning for chest radiograph diagnosis : A retrospective



- comparison of the CheXNeXt algorithm to practicing radiologists. *PLOS Medicine* 2018, 15(11) : e1002686.
- Rapport d'information n° 335 (Sénat session ordinaire DE 2012-2013) de M. [Hervé MAUREY](#), fait au nom de la commission du développement durable, déposé le 5 février 2013.
- Reis, R.S., *et al.*, Scaling up physical activity interventions worldwide : stepping up to larger and smarter approaches to get people moving. *Lancet*, 2016. 388(10051) : p. 1337-48.
- Research2Guidance, mHealth App Developer Economics 2016. 2016.
- Richards, T., A. Coulter, and P. Wicks, Time to deliver patient centred care. *Bmj*, 2015. 350 : p. h530.
- Rieke N., Hancox J., Li W., Milletari F., Roth H.R., Albarqouni S., Bakas S., Galtier M.N., Landman B.A., Maier-Hein K., Ourselin S., Sheller M., Summers R.M., Trask A., Xu D., Baust M., Cardoso M.J. The future of digital health with federated learning. *NPJ Digit. Med.* 2020 Sep 14 ; 3:119.
- Roberts ET ; Mehrotra A Assessment of Disparities in Digital Access Among Medicare Beneficiaries and Implications for Telemedicine, *JAMA Intern. Med.* 2020 ; 180(10) : 1386-1389.
- Russell L.B., Suh D.C., Safford M.A. Time requirements for diabetes self-management : too much for many ? *J. Fam. Pract.* 2005 jan ; 54(1) : 52-6. PMID : 15623407.
- Sarwar, S., Dent, A., Faust, K. *et al.* Physician perspectives on integration of artificial intelligence into diagnostic pathology. *npj Digit. Med.* 2, 28 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0106-0>.
- Scemama, Agathe. Temps de travail médical disponible : témoignage, *Après-demain*, vol. 42, nf, no. 2, 2017, p. 15-16.
- Schäfer I. Does multimorbidity influence the occurrence rates of chronic conditions ? A Claims data based comparison of expected and observed prevalence rates. *PLoS ONE*. 2012 ; 7(9) : e45390. doi : 10.1371/journal.pone.0045390.
- Siegel J. Maintaining our humanity in the digital age of

- medicine. *Perm. J.* 2019 ; 23 :19.013.
- Simon G.E., Shortreed S.M., Rossom R.C., *et al.* Effect of Offering Care Management or Online Dialectical Behavior Therapy Skills Training vs Usual Care on Self-harm Among Adult Outpatients With Suicidal Ideation : A Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2022 ; 327(7) : 630–638. doi : 10.1001/jama.2022.0423.
- Sinsky C., Colligan L., Li L., *et al.* Allocation of physician time in ambulatory practice : a time and motion study in 4 specialties. *Ann. Intern. Med.* 2016 ; 165(11) : 753–60.
- Smalley, E., Sanofi and Google in type 2 diabetes smartphone tie-up. *Nat. Biotechnol.*, 2016. 34(11): p. 1087-1088.
- Socha-Dietrich, K. (2021), Empowering the health workforce to make the most of the digital revolution, *Documents de travail de l'OCDE sur la santé*, no 129, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/37ff0eaa-en>.
- Sreenilayam S.P., Ahad, Nicolosi, Garzon V.A., Brabazon D., Advanced materials of printed wearables for physiological parameter monitoring. *Materials Today*, 2020.
- Swan M. The Quantified Self : Fundamental Disruption in Big Data Science and Biological Discovery. *Big Data.* 2013 Jun ; 1(2) : 85-99.
- Tan S.S., Goonawardene N. Internet Health Information Seeking and the Patient-Physician Relationship : A Systematic Review. *J. Med. Internet Res.* 2017 Jan 19 ; 19(1) : e9.
- Terwiesch C., Asch D.A., Volpp K.G. Technology and Medicine : Reimagining Provider Visits as the New Tertiary Care. *Ann. Intern. Med.* 2017 ; 167:814-815. [Epub ahead of print 24 October 2017]. doi : 10.7326/M17-0597.
- Terzic A., Waldman S Chronic diseases : the emerging pandemic. *Clin. Transl. Sci.* 2011 Jun ; 4(3) : 225-6.
- Tewari, A. and S.A. Murphy, From Ads to Interventions, in *Mobile Health : Sensors, Analytic Methods, and Applications* J.M. Rehg, S.A. Murphy, and S. Kumar, Editors. 2017, Springer : New York, NY. p. 495-518.
- The Fast-Track Process for Digital Health Applications (DiGA)

according to Section 139e SGB ([https://www.bfarm.de/SharedDocs/Downloads/EN/MedicalDevices/DiGA\\_Guide.html](https://www.bfarm.de/SharedDocs/Downloads/EN/MedicalDevices/DiGA_Guide.html)).

The Topol review, Preparing the healthcare workforce to deliver the digital future, NHS 2019.

Thuemmler, C. and C. Bai, *Health 4.0 : How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare*. 2017, Cham (Switzerland) : Springer.

Torous J., Kiang M., Lorme J., Onnela J. New Tools for New Research in Psychiatry : A Scalable and Customizable Platform to Empower Data Driven Smartphone Research. *JMIR Ment. Health* 2016 ; 3(2) : e16.

Torous J., Roberts L.W. Needed Innovation in Digital Health and Smartphone Applications for Mental Health : Transparency and Trust. *JAMA Psychiatry*. 2017 ; 74(5) : 437–438. doi : 10.1001/jamapsychiatry.2017.0262.

Tran V.T., Diard E., Ravaud P. Priorities to improve the care for chronic conditions and multimorbidity : a survey of patients and stakeholders nested within the ComPaRe e-cohort. *BMJ Qual. Saf.* 2021 Jul ; 30(7) : 577-587.

Tran, V.T., Riveros, C. & Ravaud, P. Patients' views of wearable devices and AI in healthcare : findings from the ComPaRe e-cohort. *npj Digit. Med.* 2, 53 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0053-1>.

Tully M.P., Bozentko K., Clement S., Hunn A., Hassan L., Norris R., Oswald M., Peek N. Investigating the Extent to Which Patients Should Control Access to Patient Records for Research : A Deliberative Process Using Citizens' Juries. *J. Med. Internet Res.* 2018 ; 20(3) : e112.

UK HOUSE OF LORDS Select Committee on Artificial Intelligence Report of Session 2017–19. AI in the UK : ready, willing and able ? 2018.

Vergheze A., What This Computer Needs Is a Physician Humanism and Artificial Intelligence. *JAMA* 2017.

Vincent J., Milieu rural et souhaits d'exercice des internes de médecine générale, *Pour*, vol. 214, no 2, 2012, p. 131-138.

Vinoth R., Nakagawa T., Mathiyarasu J., Vinu Mohan A.M.,

Fully Printed Wearable Microfluidic Devices for High-Throughput Sweat Sampling and Multiplexed Electrochemical Analysis, *ACS Sens.* 2021, 6, 3, 1174-1186  
<https://doi.org/10.1021/acssensors.0c02446>.

Voets M.M., Veltman J., Slump C.H., Siesling S., Koffijberg H. Systematic Review of Health Economic Evaluations Focused on Artificial Intelligence in Healthcare: The Tortoise and the Cheetah. *Value Health.* 2022 Mar ; 25(3) : 340-349.

Wachter, R. (2015), *The digital doctor : Hope, hype, and harm at the dawn of medicine's computer age*, McGrawHill, New York.

Wang P., Liu X., Berzin T.M., Glissen Brown J.R., Liu P., Zhou C., Lei L., Li L., Guo Z., Lei S., Xiong F., Wang H., Song Y., Pan Y., Zhou G. Effect of a deep-learning computer-aided detection system on adenoma detection during colonoscopy (CADE-DB trial) : a double-blind randomised study. *Lancet Gastroenterol. Hepatol.* 2020 Apr ; 5(4) : 343-351. doi : 10.1016/S2468-1253(19)30411-X. Epub 2020 Jan 22. Erratum in : *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2020 Apr ; 5(4) : e3.

Wang R., Blackburn G., Desai M., *et al.* Accuracy of Wrist-Worn Heart Rate Monitors. *JAMA Cardiol.* 2017 ; 2(1) : 104–106. doi : 10.1001/jamacardio.2016.3340.

Whicher D., Rapp T. The Value of Artificial Intelligence for Healthcare Decision Making-Lessons Learned. *Value Health.* 2022 Mar ; 25(3) : 328-330.

WHO [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_1).

Wickens C.D., Clegg B.A., Vieane A.Z., Sebok A.L. Complacency and Automation Bias in the Use of Imperfect Automation. *Human Factors.* 2015 ; 57(5) : 728-739.

Wilbanks, J.T. and E.J. Topol, Stop the privatization of health data. *Nature*, 2016. 535(7612) : p. 345-8.

Woolf S.H. The need for perspective in evidence-based medicine. *JAMA.* 1999 Dec 22-29 ; 282(24) : 2358-65. doi : 10.1001/jama.282.24.2358. PMID : 10612327.

- Zeevi D., Korem T., Zmora N., Israeli D., Rothschild D., Weinberger A., Ben-Yacov O., Lador D., Avnit-Sagi T., Lotan-Pompan M., Suez J., Mahdi J.A., Matot E., Malka G., Kosower N., Rein M., Zilberman-Schapira G., Dohnalová L., Pevsner-Fischer M., Bikovsky R., Halpern Z., Elinav E., Segal E. Personalized Nutrition by Prediction of Glycemic Responses. *Cell*. 2015 nov 19 ; 163(5) : 1079-1094. doi : 10.1016/j.cell.2015.11.001. PMID : 26590418.
- Zhang L., Ji H., Huang H., Yi N., Shi X., Xie S., Li Y., Ye Z., Feng P., Lin T., Liu X., Leng X., Li M., Zhang J., Ma X., He P., Zhao W., Cheng H. Wearable Circuits Sintered at Room Temperature Directly on the Skin Surface for Health Monitoring. *ACS Appl. Mater Interfaces*. 2020 Oct 7 ; 12(40) : 45504-45515. doi : 10.1021/acsami.0c11479. Epub 2020 Sep 27. PMID : 32911929.
- Zhou D., Tian F., Tian X., Sun L., Huang X., Zhao F., Zhou N., Chen Z., Zhang Q., Yang M., Yang Y., Guo X., Li Z., Liu J., Wang J., Wang J., Wang B., Zhang G., Sun B., Zhang W., Kong D., Chen K., Li X. Diagnostic evaluation of a deep learning model for optical diagnosis of colorectal cancer. *Nat. Commun*. 2020 Jun 11 ; 11(1) : 2961. doi : 10.1038/s41467-020-16777-6.
- Ziegelstein, R.C., Personomics. *JAMA Intern Med.*, 2015. 175(6): p. 888-9.
- Zuckerman B., Margolis P.A., Mate K.S. Health services innovation : the time is now. *JAMA*. 2013 Mar 20 ; 309(11) : 1113-4. doi : 10.1001/jama.2013.2007. PMID : 23512055.
- Zulman D.M., Haverfield M.C., Shaw J.G., Brown-Johnson C.G., Schwartz R., Tierney A.A., Zions D.L., Safaeinili N., Fischer M., Thadaney Israni S., Asch S.M., Verghese A. Practices to Foster Physician Presence and Connection With Patients in the Clinical Encounter. *JAMA*. 2020 jan 7 ; 323(1) : 70-81. doi : 10.1001/jama.2019.19003. Erratum in : *JAMA*. 2020 Mar 17 ; 323(11) : 1098. PMID : 31910284.

# Remerciements

Je désire remercier les gens qui m'ont incité à écrire ce livre, au premier rang desquels Nicolas Castoldi, Jean-David Zeitoun et Blandine Genthon. Sans eux, jamais je ne me serais lancé dans cette aventure.

Je désire également remercier ceux qui ont contribué à développer et enrichir certaines idées ou à relire certaines versions préliminaires du manuscrit, en particulier des membres de mes équipes de recherche comme Viet-Thi Tran, Isabelle Boutron, Raphael Porcher et Astrid Chevance. J'ai une pensée particulière pour des amis médecins qui comme Jean-David Zeitoun à nouveau, Didier Loiseau et Pierre Durieux ont relu, critiqué et amélioré ce texte.

Ce livre doit beaucoup également à Marie Bellosta (CNRS Éditions) dont le travail d'édition a été remarquable.

Enfin un grand merci à mon épouse Elisabeth et à mes enfants, leurs conjoints et mes petit-fils : Sigrid, Louis, Flore, Henri, Aurélie, Edouard et Adrien.

# TABLE

Couverture

Titre

Collection Hôtel-Dieu dirigée par Nicolas Castoldi

Copyright

Avant-Propos

Introduction

Chapitre 1 - Un système confronté à de profondes évolutions

*La transition épidémiologique des maladies infectieuses aux maladies chroniques*

*Un lien malade-médecin en évolution*

*La médecine n'est plus un art*

*Du fardeau de la maladie au fardeau du traitement*

*L'impact des comportements et styles de vie*

*Une sévère pénurie de personnel médical et soignant*

*Un système qui peine à s'adapter*

*Des données de plus en plus riches*

*Un système de financement délétère*

Chapitre 2 - Les promesses de l'apport des nouvelles technologies numériques

*Améliorer le suivi digital des patients*

*Le potentiel transformatif de l'intelligence artificielle*

*Réduire la charge de travail, augmenter la productivité*

*Quelques exemples*

*La maturité technologique est suffisante*

*Malades et aidants conscients de l'intérêt de ces technologies*

*Un intérêt marqué des soignants pour ces technologies*

Chapitre 3 - Une opportunité pour modifier nos organisations des soins

*Revisiter le lien soigné-soignant*

*D'une médecine réactive à une médecine proactive*

*Réorienter le système vers la prévention*

*Réduire la fracture de soins et l'impact des déserts médicaux*

#### Chapitre 4 - Risques et limites

*Qualité des données*

*Validité des algorithmes*

*Biais et généralisabilité*

*Effet « boîte noire »*

*Biais d'automatisation et interactions humain-machine*

*Fracture numérique*

#### Chapitre 5 - Quelles précautions pour cette révolution ?

*Préserver l'humanité des soins*

*Les défis de la collaboration humain-machine*

*Les problèmes éthiques et les responsabilités*

*Les conditions d'accès aux données et droits d'usage*

*Évaluation*

#### Chapitre 6 - Freins structurels

*Complexité et inertie des systèmes hospitaliers*

*Une capacité d'investissement limitée des hôpitaux*

*Des outils technologiques foisonnants*

*Divergence d'intérêts*

*Un modèle économique encore incertain*

*Statuts des données et modèles de répartition de la valeur*

#### Chapitre 7 - La crise du Covid, un puissant agent accélérateur

#### Chapitre 8 - Les conditions pratiques

*S'accorder sur les objectifs et anticiper les obstacles*

*S'accorder sur la répartition des rôles*

*Préparer les organisations et les soignants à cette révolution*

*Tirer profit de la capacité d'innovation des personnels*

#### Chapitre 9 - Réinventer le rôle des hôpitaux universitaires

*Développer des plates-formes régionales de suivi à distance*



*Développer des plates-formes régionales d'interventions numériques*

*Faire des hôpitaux des lieux de prévention et de dépistage*

*Transformer les hôpitaux en systèmes de santé apprenants*

*Impliquer les hôpitaux dans la formation continue*

*Valoriser les données produites*

*Faire des hôpitaux des acteurs de l'innovation*

*Faire des hôpitaux des sites experts en méthodologie*

Chapitre 10 - Initier un débat éclairé

Conclusion

Références

Remerciements